

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Proyecto Fin de Carrera

**AMPLIACIÓN DE COBERTURA TDT MEDIANTE HERRAMIENTAS DE
PLANIFICACIÓN Y CAMPAÑA DE MEDIDAS**

**EXTENSION OF DVB-T COVERAGE USING PLANNING TOOLS AND
MEASUREMENTS**



**AUTOR: ALMUDENA EXPÓSITO CANO
DIRECTOR: LEANDRO JUAN LLACER
CO-DIRECTOR: JUAN A. ARROYO**

Febrero 2014



Autor	Almudena Expósito Cano
E-mail del Autor	almudenaec90@gmail.com
Director(es)	Leandro Juan Llácer
E-mail del Director	Leandro.juan@upct.es
Codirector(es)	Juan Antonio Arroyo Rodríguez
Título del PFC	AMPLIACIÓN DE COBERTURA TDT MEDIANTE HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y CAMPAÑA DE MEDIDAS EXTENSION OF DVB-T COVERAGE USING PLANNING TOOLS AND MEASUREMENTS
Descriptores	
Resumen	Expansión de cobertura TDT a zonas de sombra mediante Gap-filler.
Titulación	Ingeniería técnica de telecomunicación, especialidad telemática.
Intensificación	
Departamento	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)
Fecha de Presentación	Marzo - 2014

INDICE

INTRODUCCIÓN TV ANALÓGICA Y DIGITAL.....	7
1.1 La TV analógica.....	7
1.1.1 Primeros objetivos	7
1.1.2 Cómo funcionaba.....	7
1.1.3 Nuevos Objetivos.....	9
1.1.4 Componentes de la señal de vídeo.....	10
1.1.5 La Tv analógica: virtudes e inconvenientes	11
1.1.6 Modificaciones deseables	11
1.2 Descripción general TV digital	12
1.2.1 La implantación de la TDT	13
1.2.2 Tipos de recepción en TDT	14
1.3 Objetivos del proyecto.	14
1.4 Estructura de la memoria.....	14
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SEÑAL TDT	16
2.1 Estándar DVB	16
2.2 Conversión digital	17
2.2.1 Formato Hexadecimal de las Muestras.	18
2.3 Codificación MPEG-2	19
2.4 Generación del TS (Transport Stream).....	21
2.5 Codificación de canal.....	25
2.7 Modulación OFDM.....	28
DIFUSION DE LA SEÑAL.....	34
3.1 Redes de difusión	34
3.1.1 Redes MFN	34
3.1.2 Redes SFN.....	34
3.2. Transporte de la información.....	35
3.2.1. Radioenlace	35
3.2.2 Satélite	38
3.2.3 Reemisores (Gap-fillers).....	39
INSTALACIÓN DE UN CENTRO EMISOR.....	41
4.1 Consideraciones previas	41
4.2 Ubicación de la caseta y la torre.....	41
4.3 Decisión sobre la recepción y transmisión. Transmisores o Gap-fillers.....	43
4.4 Medidas de cobertura	45
4.4.1 Modelo de propagación.....	45

4.5 Generación de coberturas.....	49
4.5.1 Software utilizado.....	49
4.5.2 Mapa de la zona.....	50
4.5.3 Configuración de RadioMobile y simulación de coberturas.	52
4.6 Equipos a instalar.....	71
4.6.1 Sistemas receptores	71
4.6.2 Reemisores	73
4.6.3 Triplexores	78
4.6.4 Sistemas radiantes.....	84
4.6.5 Cables y conectores.....	88
4.7 Puesta en servicio.....	88
4.7.1 Protocolo de aceptación.....	88
4.8 Comparación con el resultado teórico	110
IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SEGURIDAD.....	112
5.1 Líneas de vida	112
a) Sistemas de protección contra contactos eléctricos directos	114
b) Sistemas de protección contra contactos eléctricos indirectos.....	114
POSIBILIDADES FUTURAS DE LA TDT.....	115
6.1 TDT de acceso condicional.....	115
6.2 Alta definición (HD).....	115
6.2.1 Televisión para dispositivos móviles (DVB-H y DVB-SH)	115
6.3 TDT-2.....	117
PRESUPUESTO.....	119
CONCLUSIONES.....	120
ACRÓNIMOS UTILIZADOS	121
BIBLIOGRAFÍA.....	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Primeras cartas de ajuste emitidas por TVE	7
Figura 2: Barrido de pantalla	8
Figura 3: Representa una de las 625 líneas de televisión analógica a color con un periodo de 64 μ S	9
Figura 4: Espectro de una señal de televisión en color PAL con NICAM.	10
Figura 5: Espectro de una señal OFDM (8K, 4 programas, C/ 57; 19,91 Mbit/s, $\Delta = 1/4$)	16
Figura 6: Espectro 8VSB de ATSC.	17
Figura 7: Componentes señal de vídeo	18
Figura 8: Estructuras binarias	19
Figura 9: Imagen diferencia	20
Figura 10: Fotogramas clave y diferencia	21
Figura 11: Diagrama de bloques de cada programa	21
Figura 12: Diagrama de bloques de la formación del flujo de transporte (TS).	22
Figura 13: Flujo MPEG-2 TS	24
Figura 14: Paquete TS: cabecera + "payload".	25
Figura 15: Diagrama de bloques de la generación y codificación de la señal	26
Figura 16: Entrelazado interno para el modo no jerárquico y modulación 64QAM.	27
Figura 17: Resumen codificación de canal.	27
Figura 18: Modulación OFDM	28
Figura 19: Constelación TDT	30
Figura 20: Ejemplo de ortogonalidad en OFDM.	30
Figura 21: Si la señal llega muy retrasada añade ISI.	31
Figura 22: Capacidad de demodular a partir de un rebote y a partir de la señal principal más ecos.	32
Figura 23: Ejemplo de generación y difusión de la trama ASI.	36
Figura 24: Diagrama de bloques de TX-RX entre C.E. vía radio enlaces.	36
Figura 25: Recepción satélite	38
Figura 26: Solución para pequeñas zonas sin cobertura.	39
Figura 27: Ubicación del centro, apreciándose también los 2 puntos de medida de las tablas 4 y 5.	42
Figura 28: Vista aérea centro emisor Parapanda 1640 m.	43
Figura 29: Diseño de los equipos a instalar.	45
Figura 30: Tipos de terrenos	46
Figura 31: Ejemplo de cartografías de alta y media resolución.	47
Figura 32: Pérdidas por difracción	48
Figura 33: Búsqueda de obstáculos y pérdidas por difracción por múltiples obstáculos (Deygout).	48
Figura 34: Atenuación 'sub-path'.	49
Figura 35: Mapa de la zona afectada	50
Figura 36: Medida de la distancia en línea recta	51
Figura 37: Desnivel de la zona	51
Figura 38: Configuración del mapa	52
Figura 39: Coordenadas del punto centro que tendrá el mapa	52
Figura 40: Configuración curvas de nivel cada 20m	53
Figura 41: Mapa resultante centrado en Montefrío	53
Figura 42: Creación del emplazamiento Parapanda	54
Figura 43: Creación de GapFiller	54
Figura 44: Creación de Montefrío	55
Figura 45: Mapa de la zona con los emplazamientos.	55
Figura 46: Creación de la red Parapanda – GapFiller	56
Figura 47: Topología: Red de datos, maestro – esclavo	57
Figura 48: Miembros pertenecientes a la red Parapanda – GapFiller	57
Figura 49: Membership GapFiller	58
Figura 50: Configuración system 1 -> Parapanda	59
Figura 51: Patrón de la antena Omnidireccional de Parapanda	60
Figura 52: Configuración del GapFiller como miembro de la red	61
Figura 53: Diagrama de la yagi receptora del GapFiller en 2D	62
Figura 54: Mapa con la representación de la red Parapanda – GapFiller	62

Figura 55: Radio link para la red Parapanda - GapFiller	63
Figura 56: Configuración Parameters red GapFiller-Montefrío	64
Figura 57: Configuración Membership de la red GapFiller-Montefrío	64
Figura 58: Configuración del reemisorTX	65
Figura 59: Patrón de la antena del reemisor	65
Figura 60: Radio link para la red GapFiller – Montefrío	66
Figura 61: Configuración de simulación de la cobertura de Parapanda	67
Figura 62: Cobertura de parapanda en rosa sobre mapa en gris	68
Figura 63: Cobertura de parapanda sobre mapa de color (cobertura en azul oscuro)	68
Figura 64: Configuración para la simulación de la cobertura del GapFiller hacia Montefrío	69
Figura 65: Simulación de cobertura del GapFiller de Montefrío en azul	70
Figura 66: Coberturas de Parapanda y del GapFiller sobre mapa gris.	70
Figura 67: Coberturas sobre mapa de color.	71
Figura 68: Yagi receptora, con dipolo radomizado.	72
Figura 69: Diagramas de radiación horizontal y vertical de antena yagi	72
Figura 70: Diagrama de bloques del reemisor	73
Figura 71: Configuraciones del transmisor MRD 4010 de Egatel.	74
Figura 72: Linealizador equipos egatel	78
Figura 73: Ejemplo de medida de calidad del transmisor.	78
Figura 74: Triplexores	79
Figura 75: Banda de paso del filtro en Ch52 con medida de pérdidas de inserción.	80
Figura 76: Banda de paso del filtro en Ch57 con medida de pérdidas de inserción.	81
Figura 77: Medida de adaptación del filtro a Ch 52 y perdidas de retorno.	82
Figura 78: Medida de adaptación del filtro a Ch 57 y perdidas de retorno.	83
Figura 79: Medida de adaptación del sistema radiante	85
Figura 80: Apilamiento de paneles radiantes.	86
Figura 81: Diagramas de radiación horizontal y vertical	86
Figura 82: Especificaciones técnicas del fabricante de los paneles radiantes utilizados.	87
Figura 83: Conectores BNC, 7/16 y N macho (de izq. a dcha.)	88
Figura 84: Respuesta impulsiva entrada ch57, sin señales interferentes.	90
Figura 85: Espectro de entrada ch 57; como se puede apreciar, hay canales adyacentes.	91
Figura 86: Constelación de entrada ch57	92
Figura 87: Medida de calidad general a la entrada ch57	93
Figura 88: Respuesta impulsiva entrada ch52, sin señales interferentes.	94
Figura 89: Espectro de entrada ch52, con canales adyacentes.	95
Figura 90: Constelación de entrada de ch52.	96
Figura 91: Medidas de calidad general en la entrada ch52	97
Figura 92: Medida de hombreras con equipo ETH del Ch57	99
Figura 93: Medida de los shoulders en salida tx Ch 52	99
Figura 94: Medida de calidad de la emisión a través de sonda en salida Tx Ch 57	100
Figura 95: Constelación de salida del Ch 52	101
Figura 96: Constelación de salida del Ch 57	102
Figura 97: Medida calidad Ch 57 a la salida del multiplexor.	103
Figura 98: Medida calidad Ch 52 a la salida del multiplexor.	104
Figura 99: Medida en campo - Punto 1 ch52	106
Figura 100: Medida en campo - Punto 1 ch57	107
Figura 101: Medida en campo - Punto 2 ch52	108
Figura 102: Medida en campo - Punto 2 ch57	109
Figura 103: Posibilidad de coexistencia entre DVB-T y DVB-H.	116
Figura 104: Comparación DVB-T con DVB-T2	117

CAPITULO 1.

INTRODUCCIÓN TV ANALÓGICA Y DIGITAL.

1.1 La TV analógica

- La TV analógica surgió en los años 50 para permitir la difusión de programas de vídeo con audio.
- En primer lugar, con un canal monocromo y un canal de audio (mono) las emisiones se realizaban en canales de VHF banda I (47Mhz a 68 MHz) y más adelante en banda III. (174Mhz a 230 MHz).

1.1.1 Primeros objetivos

- Representar y transmitir **vídeo monocromo y audio**.
- Transmitirlo y hacerlo llegar a las casas **vía radiofrecuencia**.
- Permitir la recepción con **antena fija**.

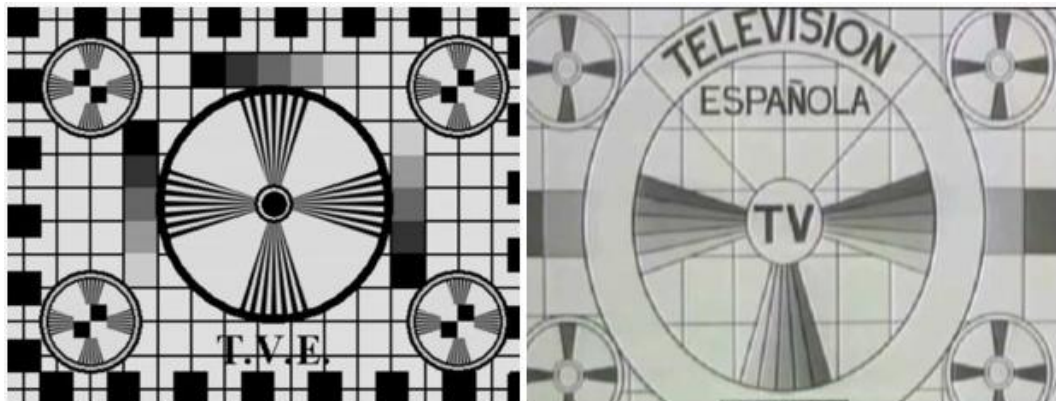


Figura 1: Primeras cartas de ajuste emitidas por TVE

1.1.2 Cómo funcionaba

- Basada en el barrido horizontal y vertical de una imagen.

Barrido de la pantalla



Cada línea tiene una duración activa de $52 \mu s$ y se emplean $12 \mu s$ para el retrazo horizontal. Hay 287,5 líneas activas en cada campo y 25 líneas borradas para el retrazo vertical. Un cuadro de imagen está formado por dos campos, y tiene 625 líneas en total, 575 activas y 50 de borrado vertical.

Figura 2: Barrido de pantalla

- En un ancho de banda limitado se mezclan las señales analógicas de audio y vídeo.
- Se enviaban a los centros emisores mediante radio enlaces también analógicos (A Canarias, los programas se llevaban por avión grabados en una cinta).
- Los centros emisores amplifican y difunden la señal. En formato analógico, se van introduciendo degradaciones inevitablemente, que además se sumaban a lo largo de toda la red.
- Para formar el canal radio, la portadora se Modulaba en Amplitud –AM–, con el video y en Frecuencia Modulada –FM– con el audio.
- Se multiplexaba en frecuencia, ocupando canales de 7 MHz en VHF y 8 MHz en UHF en estos canales podíamos diferenciar la portadora de video y la portadora de audio 5,5 MHz más arriba. (En el caso de España con el sistema Pal).
- Dos centros emisores adyacentes no podían usar la misma frecuencia, se interferían y era inevitable utilizar redes multifrecuencia.

1.1.3 Nuevos Objetivos

Sin incrementar el ancho de banda de una señal ya ‘bien ocupada’ y de forma compatible con los receptores existentes.

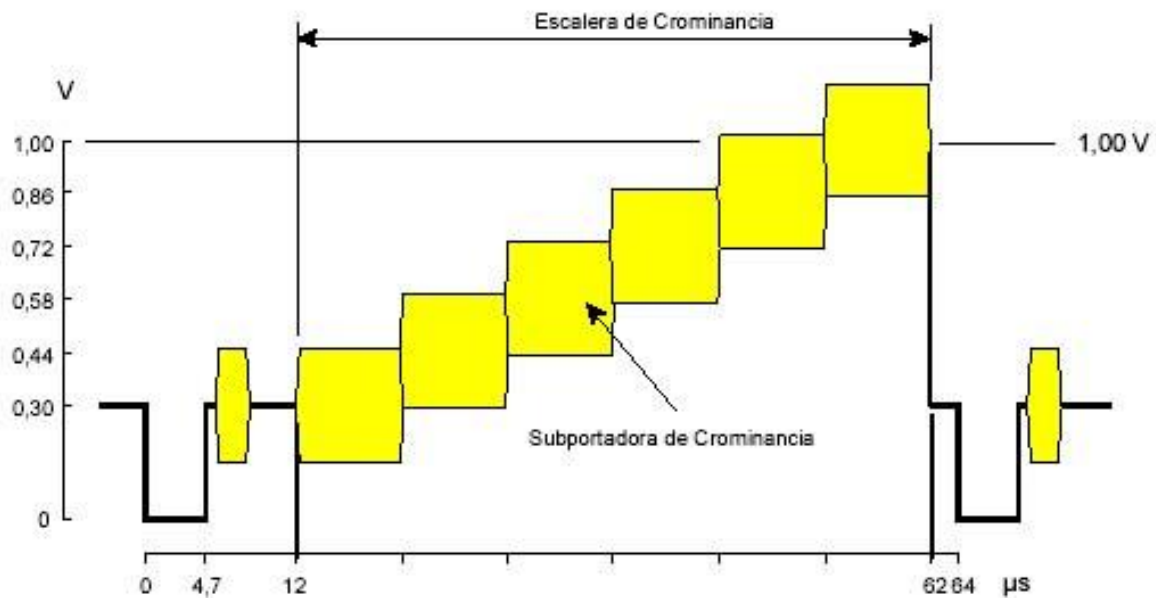


Figura 3: Representa una de las 625 líneas de televisión analógica a color con un periodo de 64 μs

- Se añadió el **color**:

Se añaden 2 componentes de crominancia, de menor ancho de banda que la luminancia y se modulan en cuadratura dentro del espectro de la luminancia (centrado en 4,43 MHz, para un ancho de luminancia de 5 MHz), pero entrelazados, de manera que un filtro de peine puede recuperarlos en el receptor sin dificultad.

- Adición de un **segundo canal de audio** ($f_v + 5,75$ MHz) que puede utilizarse para enviar audio estéreo o audio en diferentes lenguas.

- Se añaden datos, como el Teletexto en el intervalo de borrado vertical.

- También se añaden **Datos NICAM** (*Near Instantaneous Companded Audio Multiplex*) a 728 kbps: centrado en $f_v + 5,85$ MHz; puede utilizarse también para enviar audio estéreo o audio en diferentes lenguas.

1.1.4 Componentes de la señal de vídeo

- **Luminancia Y** = Contenido en blanco y negro de la imagen.
- **Crominancia F** = Contenido del color de la imagen.
- **Señales de sincronización:** Horizontal y Vertical.

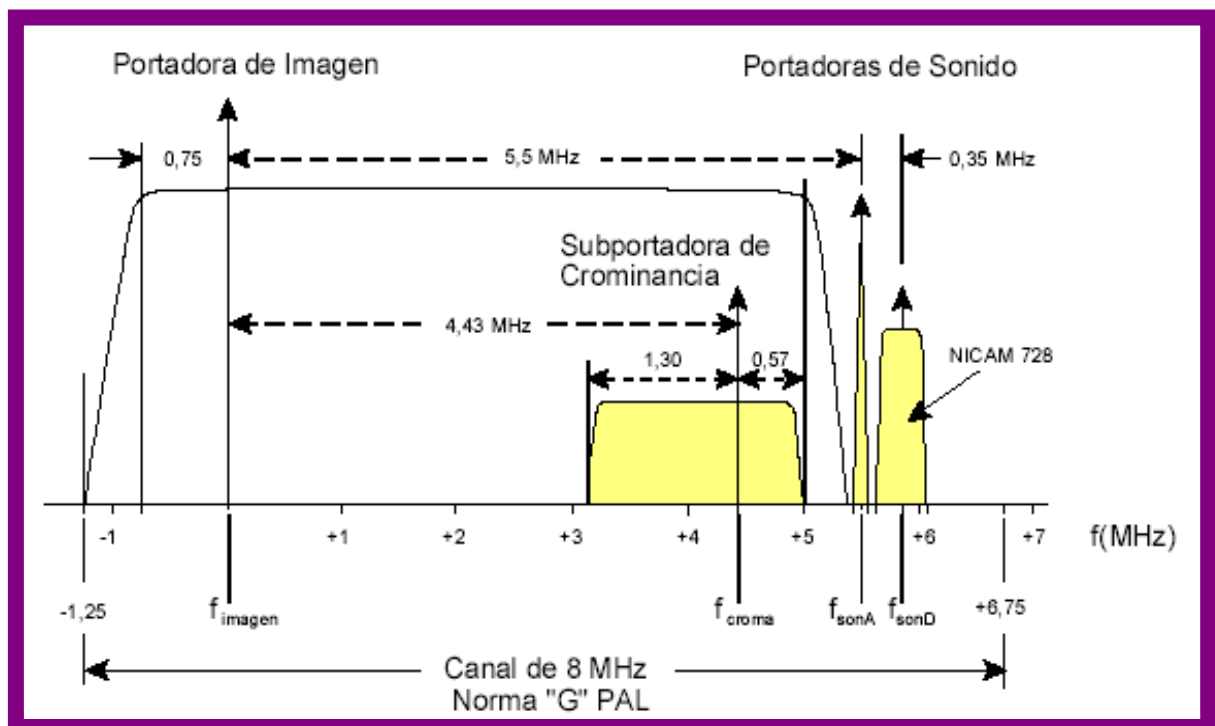


Figura 4: Espectro de una señal de televisión en color PAL con NICAM.

Los parámetros que definen la señal de imagen de TV son la Frecuencia y el tiempo:

- FRECUENCIAS

- 25 imágenes por segundo. 1 imagen contiene 2 campos.
- 625 líneas por imagen. 1 campo contiene 312,5 líneas.
- 25 imágenes x 625 líneas = 15.625 líneas / Seg.
- 50 campos por segundo, es la frecuencia del barrido vertical, 50Hz.
- 312,5 líneas por campo.

• $50 \text{ campos} \times 312,5 \text{ líneas} = 15.625 \text{ líneas} / \text{Seg.}$ que es, la frecuencia del barrido horizontal 15.625 Hz.

- TIEMPOS:

- Exploración de un campo $1/50 \text{ Seg.} = 20 \text{ ms.}$
- Exploración de una línea $1/15.625 \text{ Seg.} = 64 \text{ uS.}$

1.1.5 La Tv analógica: virtudes e inconvenientes

Virtudes

Una proeza tecnológica: un canal UHF permite enviar vídeo en color, varios canales de audio y datos, además tenía compatibilidad entre nuevas emisiones (color, audio estéreo, NICAM) y viejos receptores (monocromos, audio mono).

Señal robusta: siempre se ve.

Inconvenientes

Sistema monolítico, en el que hay gran dificultad de innovar en el servicio para introducir más datos, interactividad y en la red de transporte.

La difusión analógica implica degradaciones sucesivas de la calidad recibida.

La red de difusión ocupa mucha capacidad espectral red multifrecuencia.

Poco robusta frente a la difusión multitrayecto.

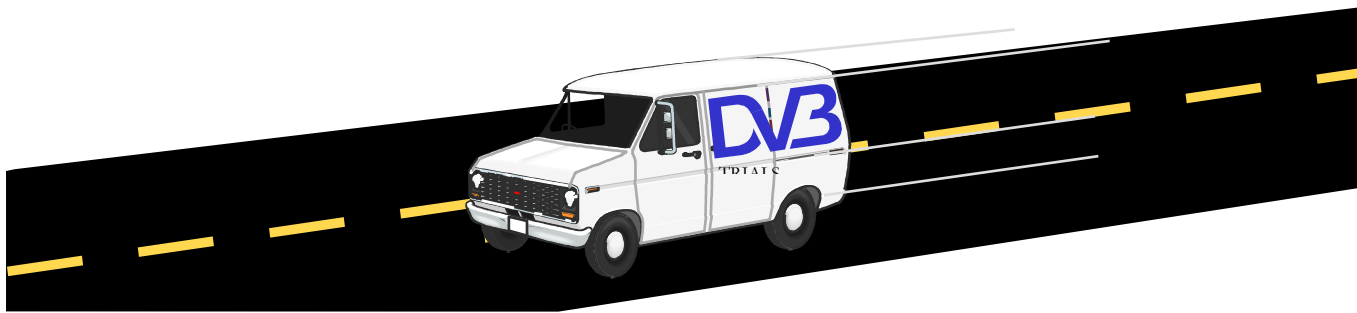
1.1.6 Modificaciones deseables

Más calidad: calidad digital.

Más variedad: calidades y tipo de servicios más flexibles, datos, interactividad.

Más capacidad: permitir más programas de TV en el mismo espectro.

Economías de escala: transporte en redes digitales.



1.2 Descripción general TV digital

Las especificaciones técnicas de los transmisores de la televisión digital terrestre han sido elaboradas en el seno de un grupo de trabajo denominado DVB "Digital Video Broadcasting" (Radiodifusión de Video Digital). [1]

Como procedimiento de codificación y compresión, se acordó utilizar el denominado "MPEG-2" debido a que se trataba de una tecnología suficientemente madura y que reunía las prestaciones necesarias para esta aplicación. El documento ETR 154 (ETR son las siglas de *ETSI Technical Report*) incluye las restricciones a la sintaxis del MPEG-2 así como las recomendaciones de los valores preferidos de los parámetros MPEG-2 para uso en las aplicaciones del DVB.

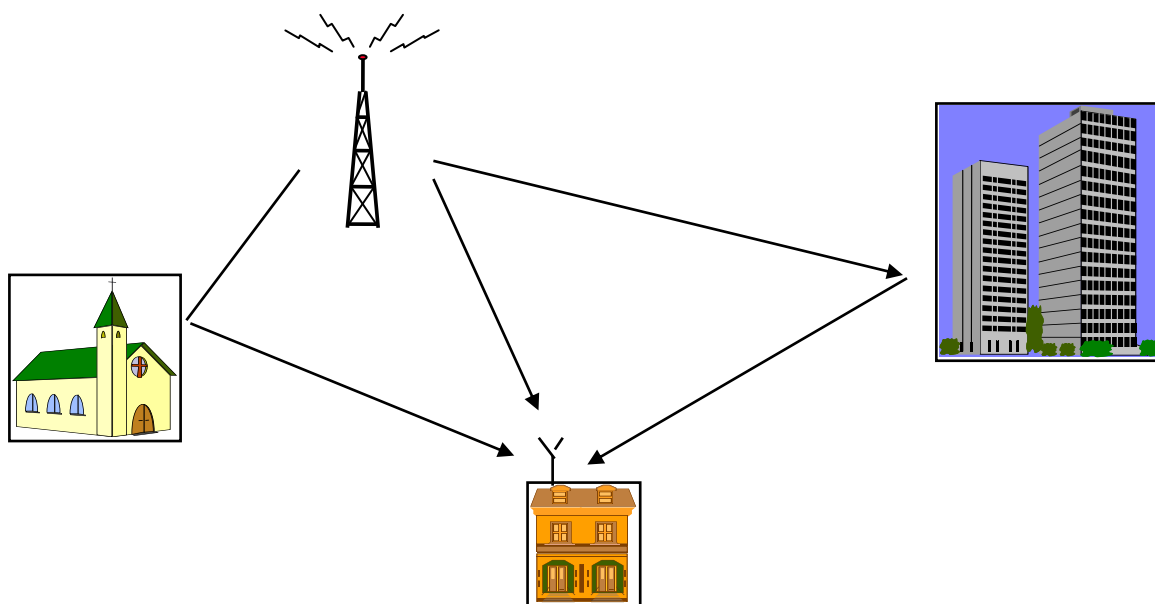
Este documento está disponible en la Web del *European Telecommunications Standards Institute ETSI* (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación).

En lo que respecta al tipo de señal de radio, o lo que es lo mismo, cómo se transmiten por el aire los datos resultantes de la compresión MPEG-2, la TV digital terrenal utiliza un tipo de modulación que se denomina "Multiplex por División de Frecuencia Ortogonal Codificada" (COFDM).

Sin entrar en detalles, esta técnica reparte la información de video y audio entre múltiples señales portadoras de radio contiguas que se emiten de forma simultánea (de ahí el término *Multiplex*), en lugar de utilizar una sola frecuencia portadora como en el caso de la AM (*Amplitud modulada*) o FM (*Frecuencia Modulada*) convencionales.

La COFDM es particularmente robusta frente a la propagación multi-trayecto, y presenta la ventaja adicional de que permite aprovechar los ecos para mejorar la recepción. Por este motivo, una de las grandes aportaciones de la TV digital terrestre va a ser la posibilidad de establecer redes de frecuencia única (SFN), de modo que todos los transmisores situados a lo largo de un territorio para transmitir un programa determinado lo hagan utilizando la misma frecuencia, cosa que antes no era posible debido precisamente a las interferencias de unos transmisores sobre otros. Los detalles técnicos de la modulación COFDM, definidos por el grupo DVB antes mencionado, se especifican en la norma europea *EN 300 744*. Quizás lo más importante, es que se pueden realizar redes de frecuencia única (SFN) y redes multifrecuencia (MFN).

Interferencia Multicamino (Multipath)



Previamente a la aplicación de la modulación COFDM, los programas de televisión ya codificados en MPEG-2 se agrupan de cuatro en cuatro o de cinco en cinco, a fin de conseguir una velocidad binaria tal que el resultado de la modulación resulte en un ancho de banda de 8 MHz, que es el que ocupa un solo canal analógico de UHF. El resultado es que se conserva la planificación de canales radio ya existente, con la diferencia de que en cada uno de ellos se reciben empaquetados 4 ó 5 programas de televisión digital, como ya se ha indicado al principio.

1.2.1 La implantación de la TDT

Al implantar la TDT se utilizó un modelo que contempló los siguientes aspectos:

- **Económicos:** generación o producción de contenidos, empaquetado, difusión en abierto, difusión codificada, etcétera.
- **Sociales y políticos:** pluralidad en la programación, papel de los operadores públicos y privados, acceso de los ciudadanos.
- **Geográficos:** nivel estatal, nivel autonómico y nivel local.
- **Tecnológicos o de nuevos servicios:** interactividad, fabricación de equipos y de compromisos adquiridos (adaptación y supervivencia de los programadores de TV analógica).

En los países de la Unión Europea se ha abordado de distinta forma la implantación de la TDT, por lo que no existe un modelo único.

En los primeros momentos, sólo cuatro países de la Unión Europea iniciaron las emisiones comerciales de TDT: Reino Unido (1998), Suecia (1999), España (2000) y Finlandia (2001). [10]

1.2.2 Tipos de recepción en TDT

La TDT hace posibles tres tipos de recepción

- *Recepción fija*, a la manera tradicional a través de las actuales antenas colectivas, o similares, instaladas en los tejados y terrazas de los edificios.
- *Recepción portátil*, es decir recepción de la señal en cualquier lugar del edificio o vivienda sin necesidad de que el receptor esté conectado a una toma fija.
- *Recepción móvil*, en equipos receptores instalados en vehículos en movimiento.

Ante el nuevo sistema de televisión es necesario tener suficientes conocimientos de estas nuevas tecnologías ya que, si bien es cierto que para llevar a cabo, de manera correcta y adecuada, una instalación de TV digital no es necesario ser ningún experto en codificación MPEG-2 o en OFDM, no es menos cierto que es más fácil diseñar una instalación o resolver los problemas que puedan surgir cuanto más se conocen los procesos y la tecnología que se está utilizando.

Conocer las características de la señal radioeléctrica, los parámetros que se pueden utilizar y la influencia de éstos sobre la señal recibida, así como dominar las técnicas y los procedimientos de medida que sobre estas señales se puedan realizar, es algo imprescindible para dar respuestas satisfactorias a las demandas y a las exigencias del mercado en el que nos desenvolvemos.

1.3 Objetivos del proyecto.

El objetivo que se persigue con este proyecto es ampliar la cobertura de TDT en la zona de Montefrío, para que se cubran las zonas de sombra que dejan sin cobertura al área urbana del pueblo granadino.

1.4 Estructura de la memoria.

En el capítulo uno, se hace una introducción a la televisión analógica y digital, así como a los objetivos de este Proyecto Fin de Carrera.

En el segundo capítulo se tratan y explican las características técnicas de la señal TDT, el estándar DVB, la codificación MPEG-2, la codificación del canal y la modulación OFDM.

La difusión de la señal es el tema tratado en el tercer capítulo de la memoria, las redes de difusión y el transporte de la información, con radioenlaces, satélites y reemisores.

El capítulo cuatro se basa más en la parte práctica de este proyecto, se trata la instalación del centro emisor, las consideraciones a tener en cuenta, la decisión de la utilización de gap-fillers, y las medidas y simulación de coberturas, utilizando el software de libre distribución Radio Mobile. Se detallan los equipos necesarios para desarrollar el proyecto y la puesta en servicio.

En el quinto capítulo se estudia el impacto medio ambiental que tendrá la realización del proyecto y los sistemas de protección para el contacto eléctrico directo e indirecto.

Por último, en el capítulo 6 se habla de las líneas futuras de la TDT, concluyendo con las conclusiones tras la realización del proyecto, los acrónimos utilizados y la bibliografía.

CAPITULO 2.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA SEÑAL TDT

2.1 Estándar DVB

Los estándares de DVB (Digital Video Broadcasting) proporcionan las soluciones necesarias para la difusión de la televisión digital. [9]

Existen diferentes especificaciones que se utilizan dependiendo de los medios de transmisión:

- DVB-T (ETS 300 744): estándar para la difusión TV digital terrestre por radiofrecuencia.
- DVB-S (ETS 300 421): difusión por satélite.
- DVB-S2 (ETS 302 307): difusión por satélite. Segunda generación del DVB-S. Utiliza el “Variable Coding & Modulation”, que introduce mejoras en la modulación y en la protección de errores.
- DVB-C (ETS 300 429): difusión por cable.
- DVB-MC/MS (ETS 300 748): difusión por microondas.
- DVB-H (ETS 302 304): difusión de TV digital a terminales móviles.

A nivel mundial también se utiliza la compresión MPEG-2, pero con estándares diferentes:

- DVB-T (Digital Video Broadcasting): se utiliza en Europa. Está basado en el sistema analógico PAL. La modulación es COFDM con un ancho de banda de 8 MHz. Robusta al multitrayecto y a las interferencias.

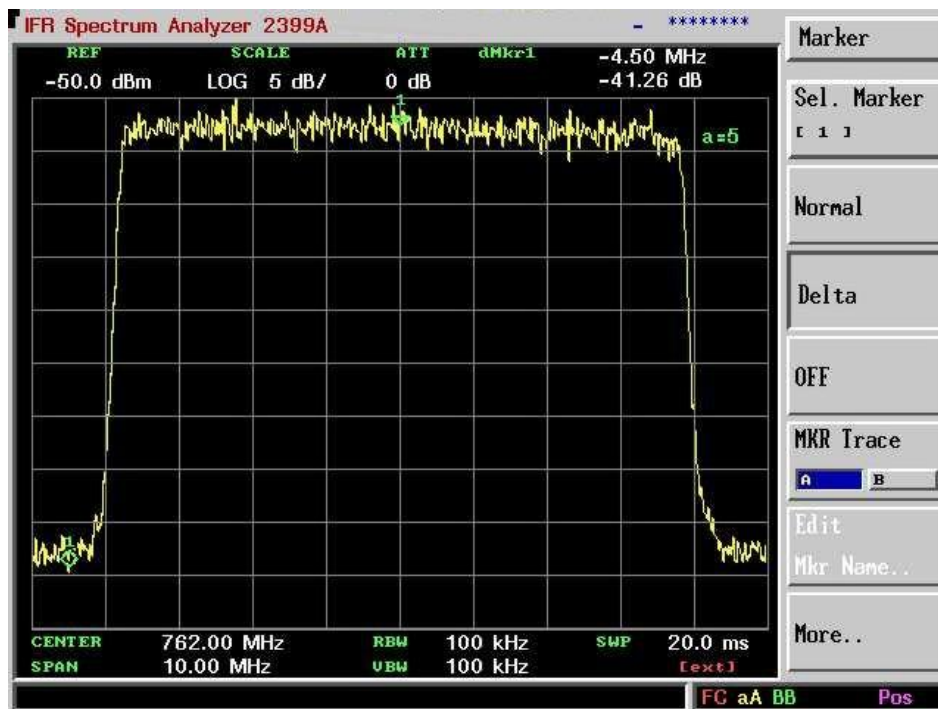


Figura 5: Espectro de una señal OFDM (8K, 4 programas, C/ 57; 19,91 Mbit/s, $\Delta = 1/4$)

- ATSC (Advanced Television System Committee): se utiliza en Estados Unidos. Está basado en el sistema NTSC que ya se utilizaba en la televisión analógica. Para la modulación se utiliza el sistema 8VSB con 6MHz de ancho de banda.

Está diseñado para la HDTV, y utiliza el espectro radioeléctrico de forma más eficiente que el DVB-T.



Figura 6: Espectro 8VSB de ATSC.

- ISDB-T (Terrestrial – Integrated Services Digital Broadcasting): utilizado en Japón. Desarrollado originalmente para la televisión de alta definición (HDTV) en analógico, pero, por la necesidad de gran ancho de banda, se ha digitalizado. La modulación es BST-OFDM (es casi idéntica a la COFDM de DVB-T).

2.2 Conversión digital

Para digitalizar la señal de video, primero se tiene que separar sus componentes (blanco y negro y color) en luminancia (Y) y cromancia (diferencia entre componente azul y luminancia y diferencia entre componente rojo y luminancia). Como resultante tenemos los componentes Y, U y V para seguidamente muestrear. Este método viene del PAL analógico, lo que hacía compatible la señal transmitida con los antiguos televisores en blanco y negro. [7]

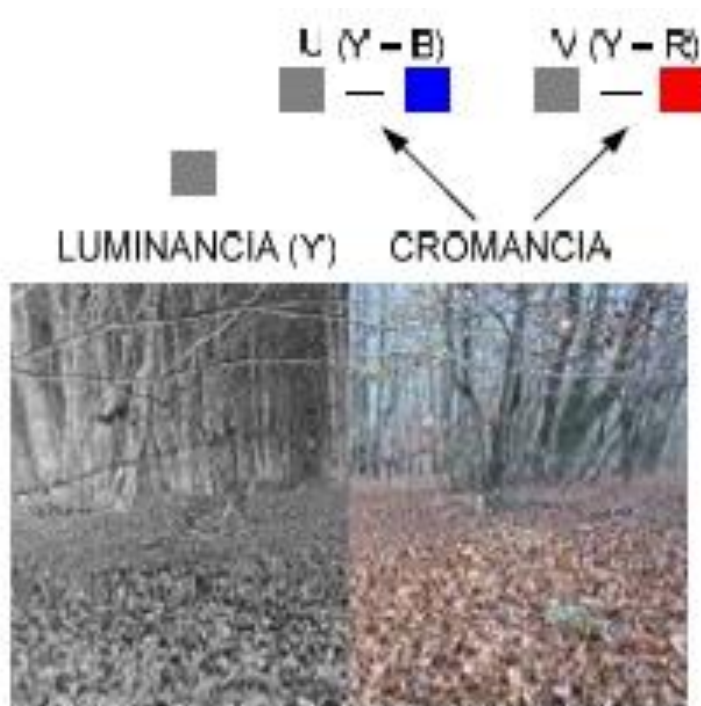


Figura 7: Componentes señal de vídeo

En TDT se pueden utilizar 2 métodos de muestreo distintos:

- Muestreo 4:2:2 \rightarrow 4 muestras Y, 2 U y 2 V
- Muestreo 4:2:0 \rightarrow 4 muestras Y, se va alternando 2 muestras U y V

Posteriormente se muestrean a 13,5 millones de muestras por segundo para la luminancia y 6,75 millones de muestras por segundo para la cromancia. Cada muestra se cuantifica con 8 ó 10 bits. El resultado se serializa y se le añade el audio, obteniendo la señal SDI (Serial Digital Interface).

Se utiliza este tipo de muestreo porque el ojo humano es más sensible a la variación de brillo que a la de color.

22.1 Formato Hexadecimal de las Muestras.

Las palabras muestreadas permiten su representación con 8 ó 10 bits, estando la señal SDI preparada para la transmisión de 10 bits por muestra.

Si se han utilizado 8 bits por muestra, se añaden los 2 bits menos significativos a 0 (00).

La representación de las muestras es diferente según el estándar considerado EBU o SMPTE

La EBU considera como parte entera los 8 bits más significativos y como parte fraccional los 2 bits restantes.

LA SMPTE considera todo como parte entera.

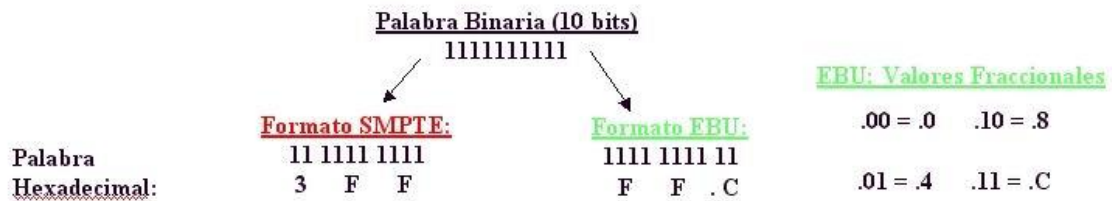


Figura 8: Estructuras binarias

El SDI puede variar dependiendo del tipo de señal a emitir. La definición estándar de TDT que se usa actualmente (SDTV con proporción 4:3), tiene una velocidad binaria de 270 Mbps:

$$\text{SDTV} \rightarrow 4:2:2 \rightarrow (13,5 \text{ MHz Y} + 6,75 \text{ MHz U} + 6,75 \text{ MHz V}) \times 10 \text{ bits} = 270 \text{ Mbits/seg.}$$

Si la televisión quiere emitir en 16:9, la tasa de bits sería de hasta 360 Mbps. Con la alta definición la velocidad de bit de la SDI llegaría a los 1485 Gbps. El ancho de banda necesario para SDTV y utilizando 6 bits/Hz (modulación 64QAM) es de:

$$\frac{270 \text{ Mbps}}{6 \text{ bits/Hz}} = 45 \text{ MHz de ancho de banda.} \quad (2.1)$$

Debido al gran volumen de información para transmitir, y al ancho de banda limitado para hacerlo, se tiene que codificar y comprimir la señal.

2.3 Codificación MPEG-2

El grupo de estandarización MPEG (Motion Picture Experts Group) define los formatos para comprimir la señal de audio y video. También permite hasta cuatro niveles de calidad de la señal:

- Nivel bajo: 352 píxeles por 288 líneas.
- Nivel principal (SDTV): 720 píxeles por 576 líneas.
- Nivel alto 1440: 1440 píxeles por 1152 líneas.
- Nivel alto: 1920 píxeles por 1152 líneas.

La compresión del video consiste en eliminar la información no visible para el ojo humano, además de no enviar la información redundante de la señal. Esto se consigue utilizando las siguientes propiedades:

- Redundancia temporal: En una sucesión de imágenes siempre hay una cantidad de información que se repite. Por tanto, se puede reducir la cantidad de éstas a transmitir si sólo se envían los cambios entre imágenes consecutivas.

Los codificadores MPEG también aplican la técnica de predicción temporal basada en la compensación de movimiento. Así, de 2 fotogramas sólo se envía el movimiento que harán los píxeles que varían. [2]

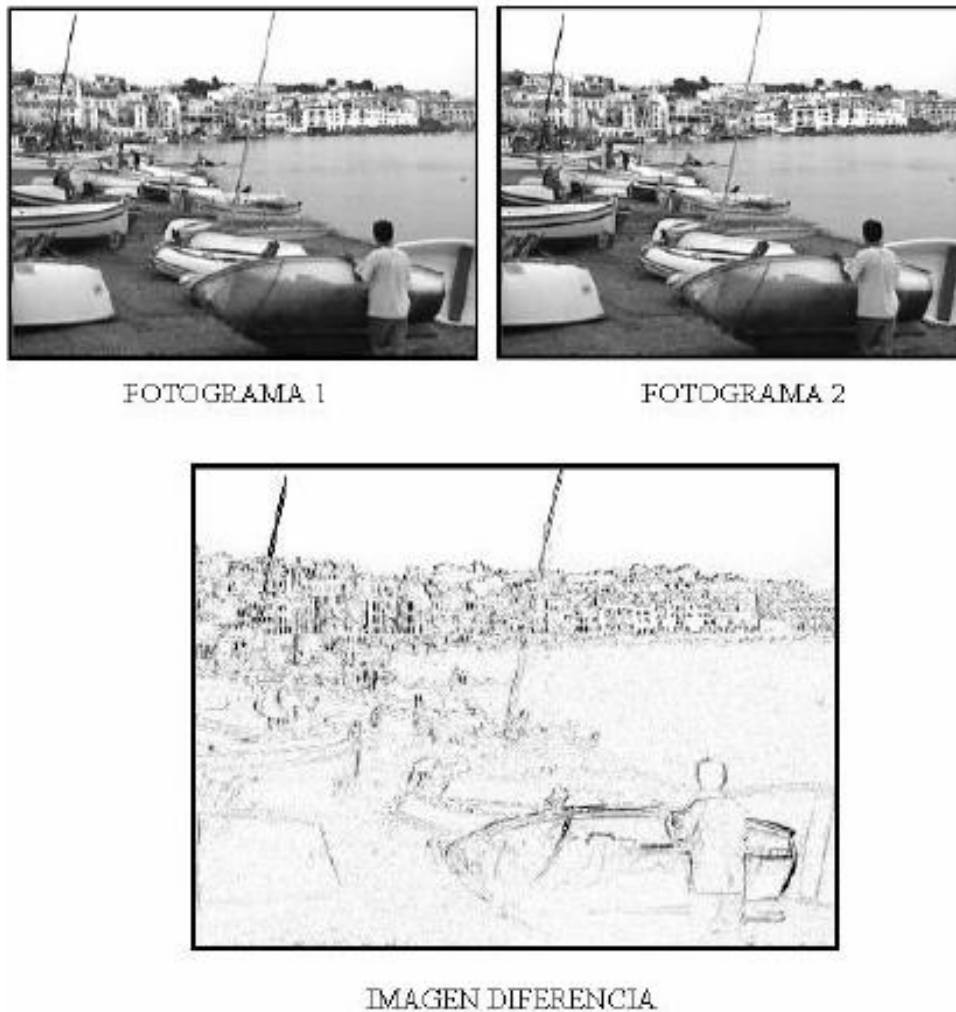


Figura 9: Imagen diferencia

Se tienen que definir fotogramas clave (key-frame) y fotogramas diferencia (delta-frame). Los fotogramas clave se deben insertar de forma periódica, en caso contrario pueden acumularse los errores.

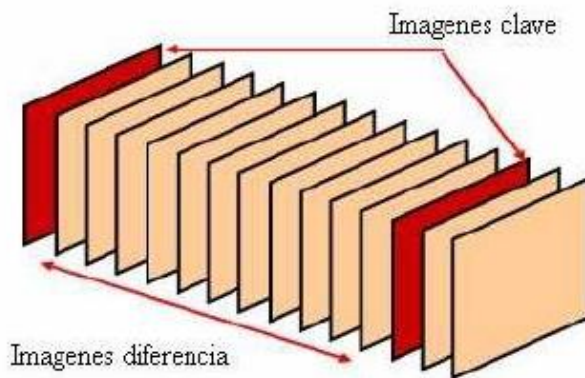


Figura 10: Fotogramas clave y diferencia

- Reducción espacial: Se hace la transformada coseno (DCT – Discreet Cosine Transform), se cuantifica teniendo en cuenta que el ojo humano es más sensible a frecuencias bajas que a altas. Aplicando la DCT se consigue la compactación de la energía.

- Redundancia estadística: Hay grupos de bits que se repiten continuamente, por lo que se puede reducir la tasa de transmisión empleando códigos de longitud de segmento y códigos de longitud variable. Entonces se asignan los códigos de longitudes menores a los símbolos más frecuentes. Para esto se utilizan los códigos Huffman.

La reducción de la redundancia estadística es reversible, pero la temporal y la espacial pueden introducir errores no recuperables.

El audio también se comprime. Se muestrea a 48 KHz y se envían 32 bits / muestra. 20 de estos bits son el resultado de codificar el audio, los 12 restantes corresponden a funciones adicionales.

El ancho de banda mínimo necesario para sonido estéreo es de 192 Kbps.

Para codificar audio con efecto envolvente, se necesitarían 400 Kbps.

2.4 Generación del TS (Transport Stream)

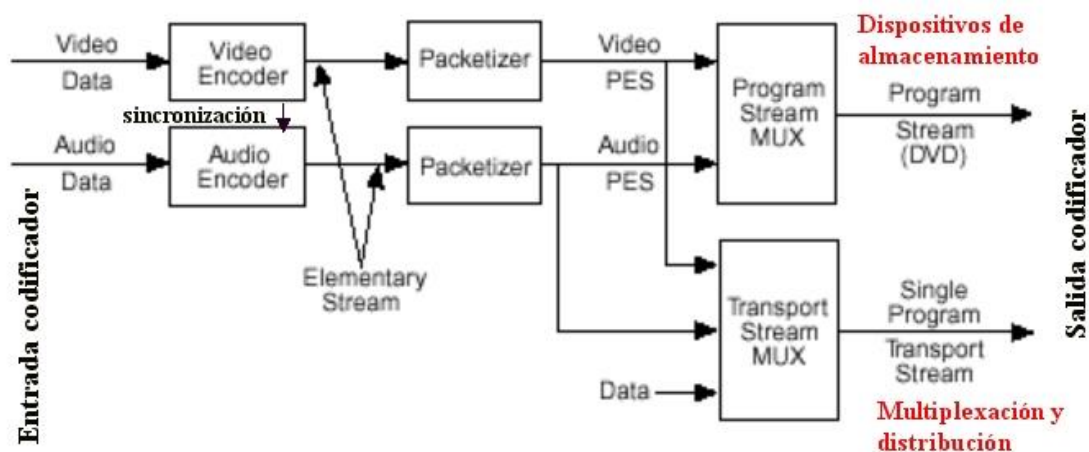


Figura 11: Diagrama de bloques de cada programa

Para transportar la información primero se tiene que empaquetar e identificar. En el caso de TDT, se utilizan los métodos MPEG-2 TS (Transport Stream). Cada grupo audiovisual se separa en flujos de programa (Program Stream – PS).

Se codifica el video, audio y datos y se les añade un identificador (Program ID, PID). Se multiplexan añadiéndoles información temporal (PCR) para asegurar el sincronismo en recepción. Por último, también se insertan tablas de señalización (PMT) que identifican los diferentes PES (Packetized Elementary Stream) que pertenecen a un mismo programa.

Cada flujo de programa (PS) contiene uno o más PES. El multiplexado de varios programas forma el flujo de datos denominado MPEG-2 TS. También se conoce como múltiple.

Los codificadores MPEG-2 permiten el control variable de la tasa de bits (Variable Bitrate – VBR).

Este control permite enviar con mayor tasa de bits, eventos que los requieren, como partidos de fútbol y con menor tasa, eventos con menos cambios de imágenes como telediarios. Puesto que algunos múltiples son compartidos por diferentes empresas, se opta por la tasa de bits constante (Constant Bitrate – CBR). Aunque se tiende a que cada operador tenga un multiplex en exclusiva y pueda modular a su conveniencia su trama en cada momento.

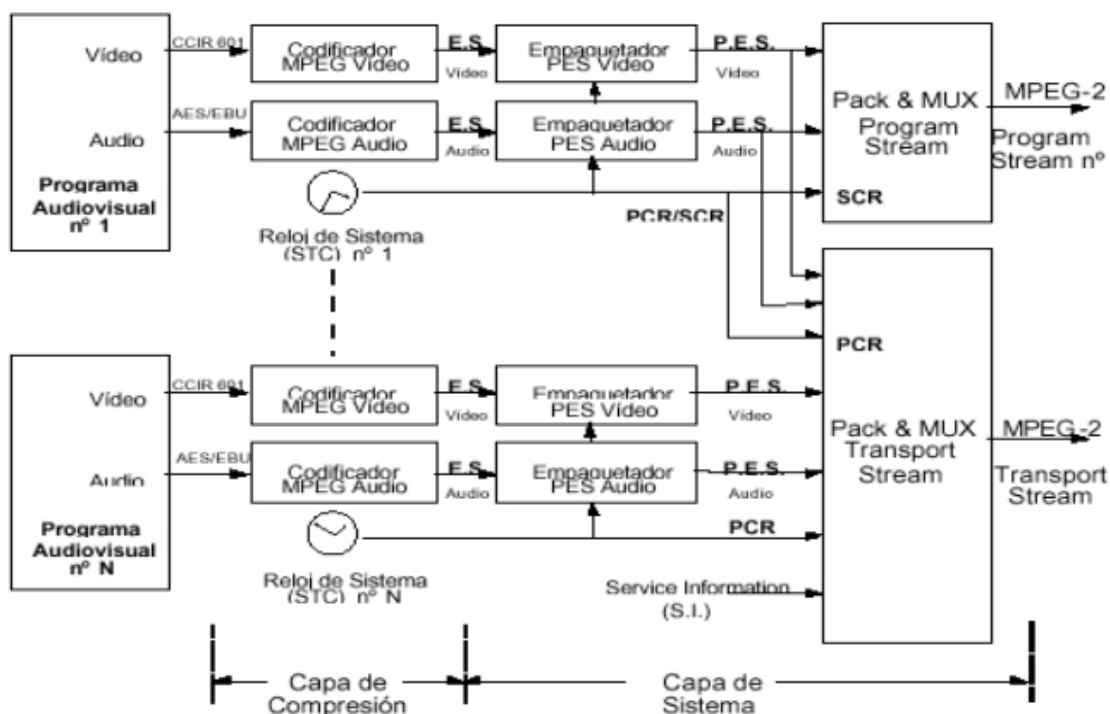


Figura 12: Diagrama de bloques de la formación del flujo de transporte (TS).

Los diferentes PS se multiplexan y se les añade información de señalización para sincronizar y facilitar la decodificación de los programas en recepción. Esta información esta insertada en las Tablas de Información de Servicio (PSI y SI).

Los diferentes múltiples tienen la opción de añadir señal MHP (Multimedia Home Platform) individualmente a cada PS, o de forma compartida, para proporcionar servicios interactivos.

Las tablas de señalización PSI (Program Specific Information) más importantes son:

- Tabla de Asociación de Programas (PAT). Siempre tiene el identificador PID 0x0000. Es imprescindible, ya que contiene la lista de programas que constituyen la trama de transporte MPEG-2 TS. También incluye los PID de sus PMT.
- Tabla de Mapa de Programa (PMT). Cada programa tiene su PMT asociada, que indica los PID de cada uno de los flujos PES que lo componen. Puede incluir información de la codificación del vídeo, audio, idioma, etc.
- Tablas de Información de Red (NIT). Contiene información sobre la red física que transporta los datos: frecuencias, modulación, quien realiza el programa, y el receptor utiliza esta información para la sintonización de la señal.
- Tabla de Acceso Condicional (CAT). Siempre tiene el PID 0x0001. Si la información de alguno de los programas está cifrada, contiene detalles de los sistemas de codificación empleados.
- Tabla de Descripción de Servicios (SDT). Contiene información de nombre programa y proveedor, acceso condicional, disponibilidad de país, transmisión de datos, servicio multilingüe...
- Tabla de Información de Eventos (EIT). Informa de los eventos actuales y futuros. Los receptores generan la Guía de Programación Electrónica (EPG) a partir de esta tabla.

Las tasas binarias habituales de entrada a un multiplexor de transporte son:

Programa de TV (PS): 4-4,5 Mbps

Tablas SI: 0,05 Mbps

MHP: 0,6 Mbps

Teletexto: 0,3 Mbps

PCR: 0,015 Mbps

EPG: 0,2-0,5 Mbps

Así el flujo final de datos resultante será:

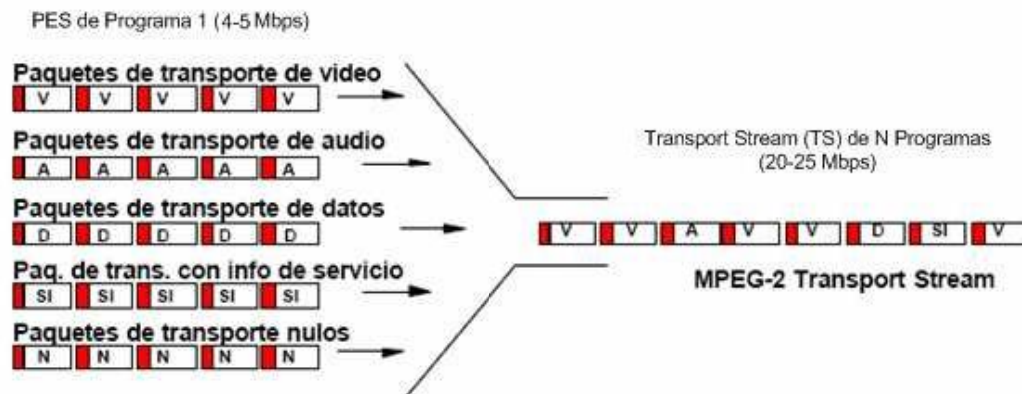


Figura 13: Flujo MPEG-2 TS

Los paquetes PES de cada programa se insertan en el Transport Stream junto con algunos campos de adaptación. Quedando como resultante la secuencia de paquetes de 188 bytes de la figura 13.

Los bloques de la cabecera de la figura 14 corresponden a:

- Sync. Byte: 8 bytes de sincronización. Siempre tiene el valor "47" en hexadecimal, lo que facilita la sincronización en el decodificador.
- Transport Error Indicator: identifica una error detectado más atrás.
- Start Indicator: inicio de PES en el paquete de transporte. Se pone a "1" cuando el primer byte del paquete de transporte corresponde con el primer byte de un PES.
- Transport Priority: indicador de prioridad.
- PID: identificador del paquete de transporte.
- Scrambling Control: tipo de cifrado de transporte.
- Adaptation Field Control: control del campo de adaptación en el paquete.
- Continuity Counter: contador de continuidad entre paquetes afines. Se incrementa entre sucesivos paquetes de transporte pertenecientes al mismo flujo elemental. De esta forma el decodificador puede detectar la pérdida o ganancia de un paquete, y así poder ocultar los errores que de otra forma podrían presentarse.

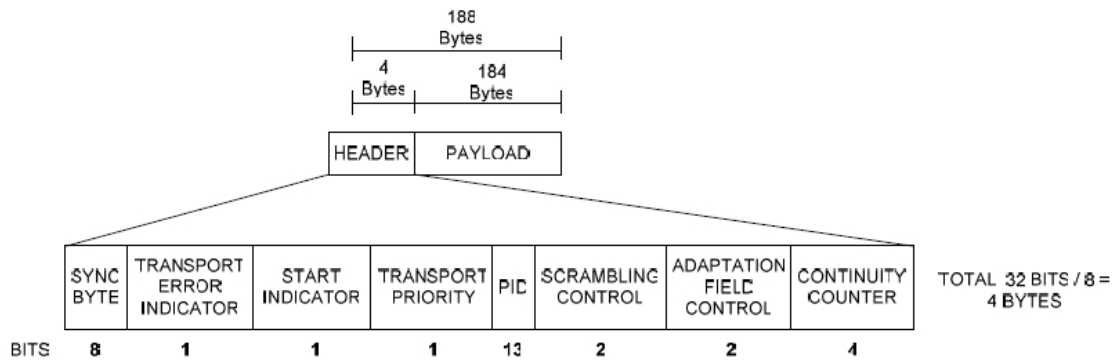


Figura 14: Paquete TS: cabecera + “payload”.

El flujo MPEG-2 TS también se conoce como ASI (Asynchronous Serial Interface).

2.5 Codificación de canal

El medio por el que viajará la señal es el aire. Las propiedades no lineales de éste, además de la posibilidad de encontrar obstáculos o interferencias que introduzcan ruido y distorsión, hace la necesidad de dotar al sistema de comunicaciones de cierta robustez. Ésta se consigue introduciendo información redundante, minimizando así los errores que puedan aparecer. El método de inserción de redundancia se llama codificación de canal, cuyos bloques son (figura 15):

- Adaptación del múltiple de transporte y dispersión de energía (MUX Adaptation, Energy Dispersal). Para asegurar las adecuadas transiciones binarias (evitar largas series de unos y ceros), el flujo binario de MPEG-2 se aleatoriza. Se utiliza un polinomio generador:

$$1 + x^{14} + x^{15}.$$

La secuencia pseudoaleatoria que se utiliza es “100101010000000”, la cual se iniciará al comienzo de cada conjunto de 8 paquetes. Tanto el polinomio generador como la secuencia pseudoaleatoria son conocidos en TX y RX.

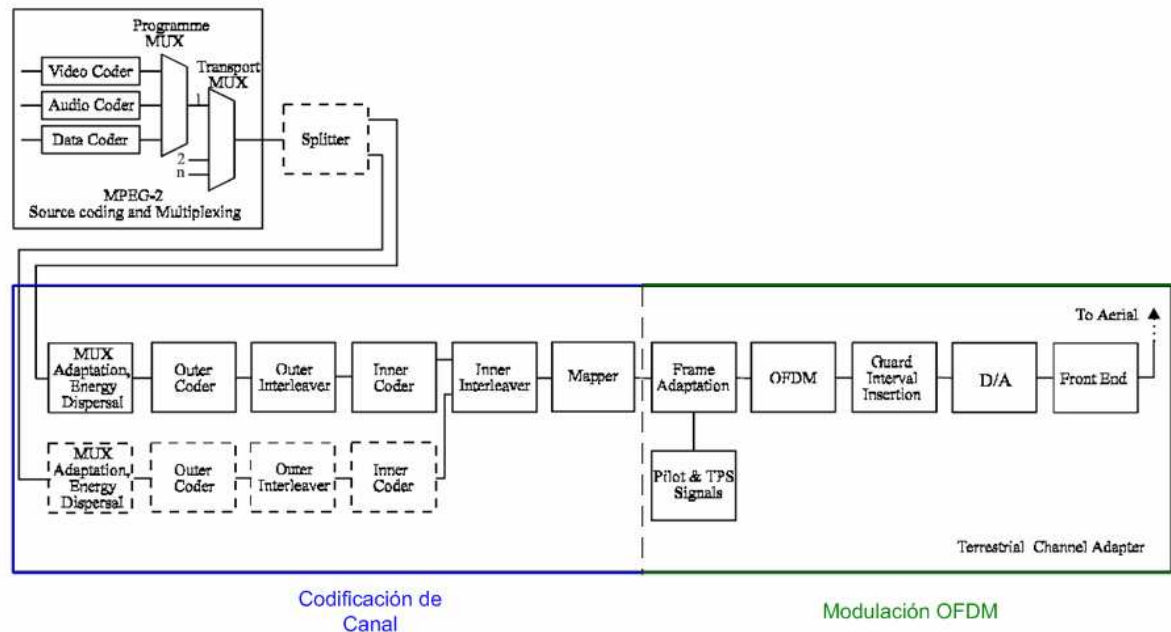


Figura 15: Diagrama de bloques de la generación y codificación de la señal

- Codificación externa (Outer Coder). Utiliza un codificador de bloques tipo Reed-Solomon RS (204, 188, t=8). A la entrada de 188 bytes añade 51 nulos más 16 de paridad. Finalmente se eliminan los nulos para obtener los 204 bytes de salida. Este método puede corregir hasta 8 bytes erróneos.

- Entrelazado externo (Outer Interleaver). Altera el orden de los paquetes, haciendo así que las ráfagas de errores introducidas por el canal, al ordenar los paquetes en recepción los errores se habrán distribuido, lo que favorecerá a la corrección Reed- Solomon.

- Codificación interna (Inner Coder). Es un codificador convolucional que distribuye los datos en dos flujos, que son combinaciones de la señal de origen y de esta misma desplazada en tiempo por unos registros de desplazamiento. El código convolucional es del tipo "Rate Compatible Punctured Convolutional Code", con diversas tasas de codificación disponibles (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8). Por ejemplo, si se utiliza la tasa 1/2, de cada bit de información enviado se añade otro redundante. En la codificación Punctured Convolutional Code algunos de los bits redundantes no se transmiten. En recepción se añadirán estos bits.

En recepción se decodificará utilizando Viterbi.

- Entrelazado interno (Inner Interleaver). Se compone de dos procesos, el primero relativo a bit, y el segundo a símbolo (figura 16).

- Entrelazado de bits. El flujo de entrada se divide en diferentes sub-flujos, dependiendo de la modulación por portadora que se utilizará, y dependiendo del modo jerárquico o no jerárquico.

- Entrelazado de símbolos. Distribuye los datos entre las diferentes subportadoras.

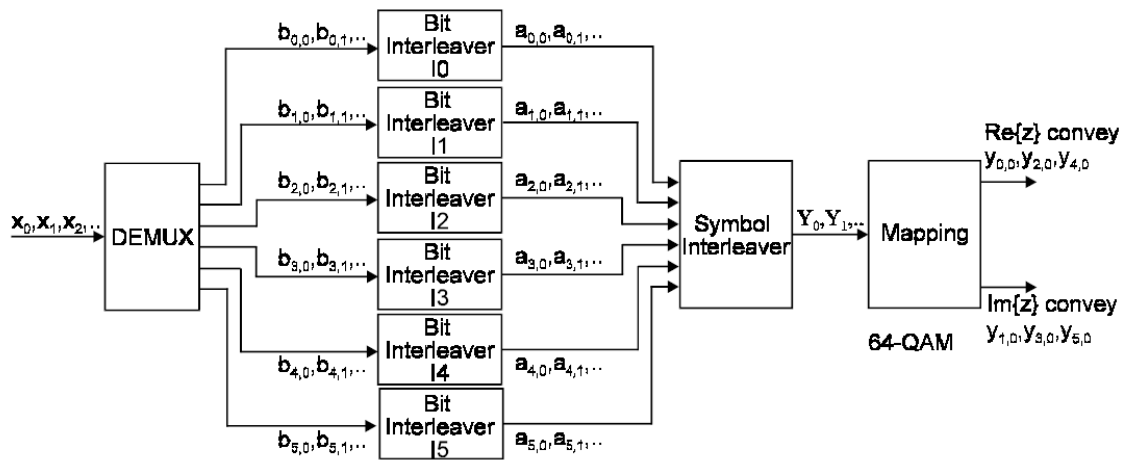


Figura 16: Entrelazado interno para el modo no jerárquico y modulación 64QAM.

- Modo jerárquico y no jerárquico. En la figura 15 hay un Splitter que divide la señal en dos flujos. Éstos se procesan de forma diferente. El flujo HP (High Priority) tendrá bajo bitrate y alta protección contra errores. El flujo LP (Low Priority) tendrá alto bitrate y baja protección contra errores.

El coste de utilizar el modo jerárquico es mayor, ya que se necesita: un Splitter a la salida del codificador MPEG-2, duplicar toda la codificación de canal, y además diferente modulación para unas portadoras que para otras.

-Mapeado digital (Mapper): Genera la constelación de cada subportadora. A la salida de este bloque, el flujo estará dividido en parte real y parte imaginaria.

En el modo jerárquico el flujo de alta prioridad se modulará con QPSK (más protección), mientras que el de baja prioridad se modulará con 16 QAM ó 64 QAM. Resumiendo:

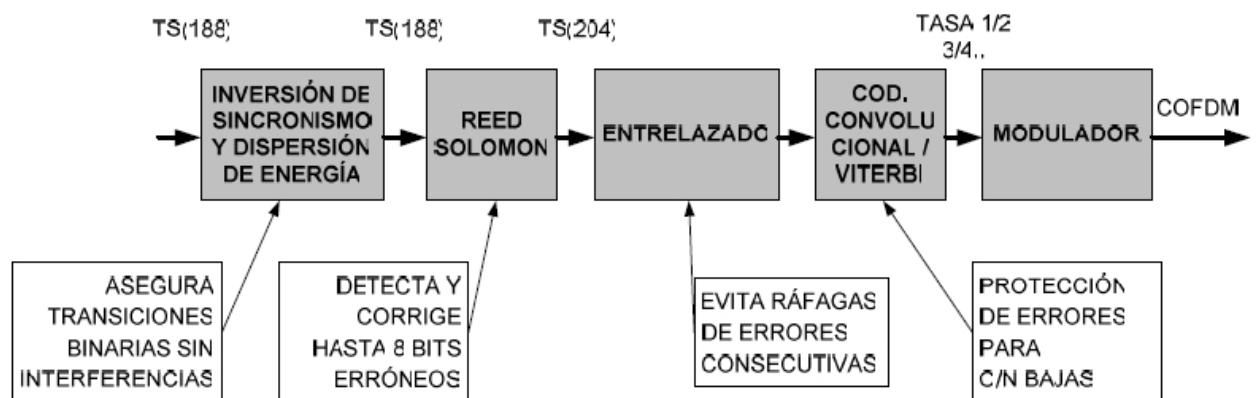


Figura 17: Resumen codificación de canal.

2.7 Modulación OFDM

La TDT en España se modula en OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es decir, la información queda contenida en múltiples subportadoras, éstas con una tasa de símbolo baja. [8]

El número de subportadoras puede variar, pero actualmente se utiliza el modo 8k (6817 portadoras). Cada una de las portadoras están separadas entre sí 1116Hz, con un ancho de banda total de 7,61 MHz, aunque se considera un espaciado entre canales de 8 MHz.

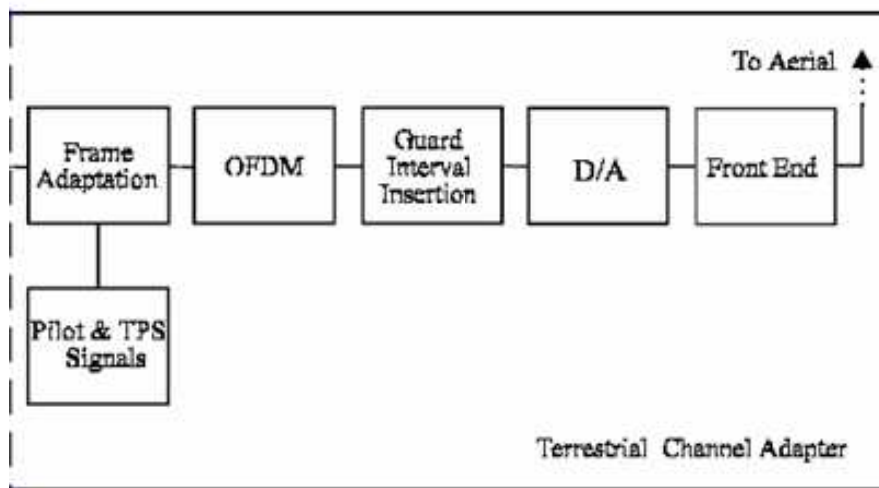


Figura 18: Modulación OFDM

La señal transmitida se organiza en tramas. Cada trama consiste en 68 símbolos, cada uno de ellos con una duración T_s . La duración de la trama será:

$$T_F = 68 \cdot T_s$$

Estos símbolos en OFDM se numeran del 0 al 67.

Existen estructuras a nivel superior:

- Super-trama (super-frame). Está compuesto de 4 tramas, con un número fijo de 204 bytes independientemente del modo de transmisión.
- Mega-trama (mega-frame). Está compuesto de 8 tramas, es decir 2 super-tramas, para el modo 8k. Para el 2k consta de 32 tramas (8 súper-tramas)

Para el modo 2k serán 1705 elementos, lo que coincide con el número de portadoras. Para el modo 8k serán 6817. Aunque de las 1705 del 2k sólo 1512 contienen información útil, 6048 para el 8k. El resto de portadoras tienen diferentes funciones:

- Portadoras piloto continuas. Sincronizan el receptor en fase y en frecuencia.
- Portadoras piloto dispersas. Regeneración del canal en módulo y fase.
- Portadoras TPS. Contienen la información del modo, la modulación y jerarquía en que se está transmitiendo la información.

Tanto las portadoras piloto como las TPS se modulan en BPSK. Las TPS con un nivel de potencia normalizado, mientras que las piloto con un nivel de potencia reforzado.

El total de portadoras piloto son:

	Modo 2k	Modo 8k
Continuas	45	177
Dispersas	131	524
TPS	17	68
Datos	1512	6048
Total	1705	6817

Tabla 1: número total de subportadoras

En la figura 19 se aprecian las portadoras piloto en una constelación típica de la TDT en España.

La modulación OFDM permite aprovechar al máximo, el limitado espectro de frecuencias disponible. Esto se consigue espaciando las portadoras exactamente a

$$f_u = 1/T_u$$

dónde T_u es el periodo de símbolo. Por lo que coinciden los ceros del espectro con los máximos de cada portadora, eliminando la interferencia entre símbolos (ISI) como se muestra en la figura 20.

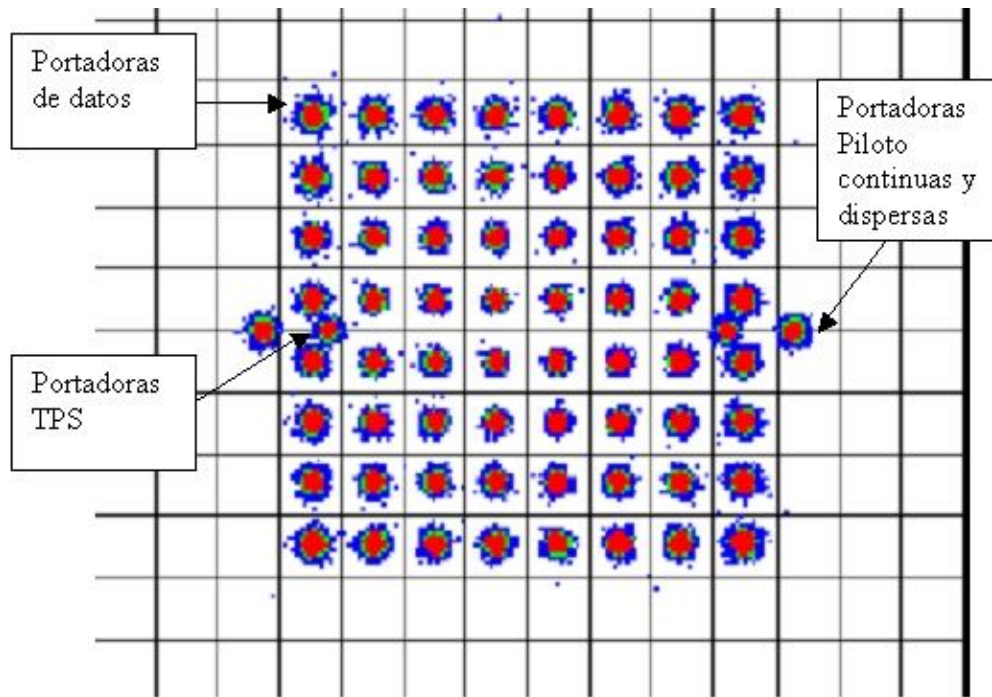


Figura 19: Constelación TDD

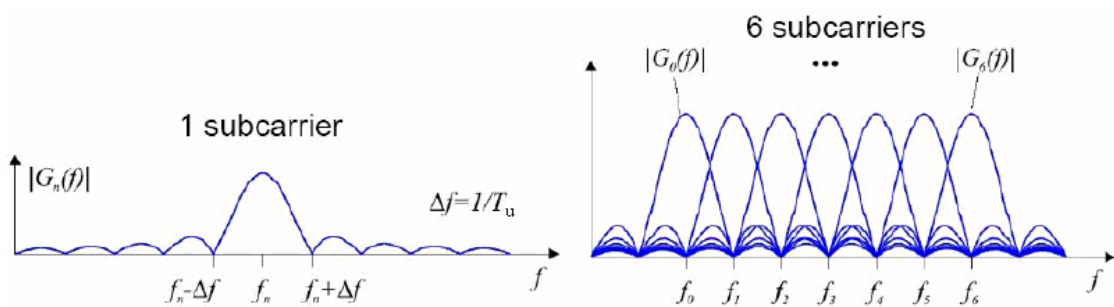


Figura 20: Ejemplo de ortogonalidad en OFDM.

El espectro OFDM será como el de la figura 5.

La tasa de símbolo baja de las portadoras, comentado anteriormente, proporciona un mejor comportamiento al multicamino (rebotes de señales en la misma frecuencia).

Para hacer todavía más robusta la señal, se añade un intervalo de guarda. Por tanto, el tiempo de símbolo será el tiempo útil más el tiempo de guarda:

$$T_s = T_u + \Delta$$

Se considera que el tiempo de guarda debe ser superior al tiempo que tarda la señal en recorrer la distancia entre transmisores.

Proporción con la longitud del intervalo útil	Duración del periodo de guarda y distancia máxima entre transmisores			
	Modo 8k	Distancia	Modo 2k	Distancia
1/4	224 μ s	< 67,2 km	56 μ s	< 16,8 km
1/8	112 μ s	< 33,3 km	28 μ s	< 8,4 km
1/16	56 μ s	< 16,8 km	14 μ s	< 4,2 km
1/32	28 μ s	< 8,4 km	7 μ s	< 2,1 km

Tabla 2: Duración de los intervalos de guarda.

Si un receptor recibe dos señales, la principal y un eco, la condición para que la interferencia sea constructiva es que la diferencia de retardos no supere el tiempo de guarda.

En la figura 21 se muestra como los ecos que llegan muy retrasados actúan como interferencia.

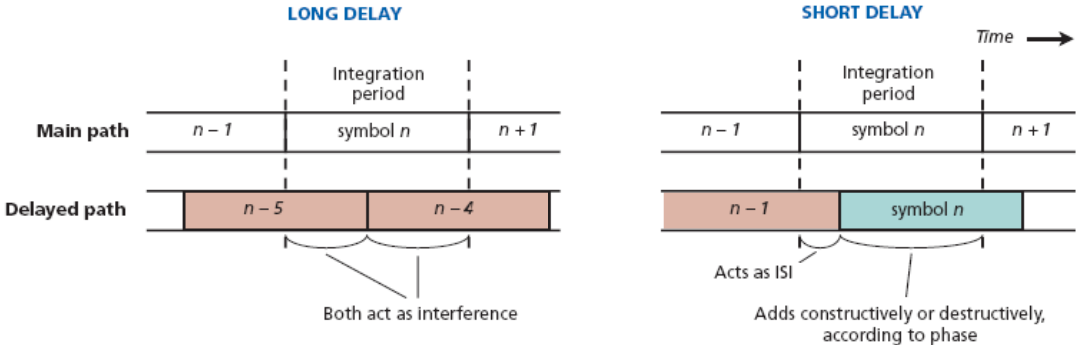


Figura 21: Si la señal llega muy retrasada añade ISI.

Otra ventaja de utilizar una modulación robusta como OFDM es la no necesidad de tener visión directa con el transmisor (figura 22), pudiendo demodular la señal principal con ecos dentro del intervalo de guarda, y también demodular directamente un eco sin visión directa de la señal original.

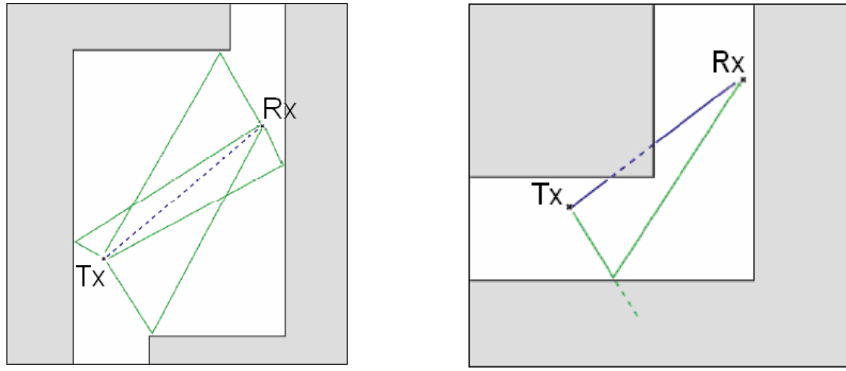


Figura 22: Capacidad de demodular a partir de un rebote y a partir de la señal principal más ecos.

La elección de los diferentes parámetros que ofrece el estándar DVB-T afectará al bitrate neto transmitido. Éste se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$R_u = R_s \cdot b \cdot CR(I) \cdot CR(RS) \cdot \frac{T_u}{T_s}$$

Dónde:

R_u : bitrate útil.

R_s : velocidad de símbolo bruta (siempre 6,75 Mbps).

b : bit por subportadora.

$CR(I)$: codificación interior.

$CR(RS)$: codificación exterior (Reed-Solomon).

T_u : duración útil del símbolo.

T_s : duración total del símbolo.

Modulación	Código Convolutacional	Intervalo de Guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,1
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,1
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	23,29	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Tabla 3: Resumen de tasas de bits disponibles.

En España actualmente se utiliza la modulación no jerárquica por portadora 64QAM (6 bits por símbolo).

Con codificación convolutacional 2/3 e intervalo de guarda de 1/4 (tabla 2.3).

La codificación exterior Reed-Solomon es de 204 en lugar de 188 bytes.

El modo es el 8k. Por tanto la velocidad binaria será:

$$R_u = 6,75Mbps \cdot 6 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{188}{204} \cdot \frac{896\mu s}{(896\mu s + 224\mu s)} = 19,90588Mbps$$

CAPITULO 3.

DIFUSION DE LA SEÑAL.

La señal se transmitirá por vía aérea. Para esto es necesario definir las redes de difusión, es decir, la estructura de estas. Además la señal puede ser transportada entre centros emisores de formas distintas, dependiendo de los requisitos de orografía del terreno y población a cubrir.

3.1 Redes de difusión

Para que la señal de TDT llegue a toda la población prevista, es necesario el diseño de redes de difusión que permitan la transmisión de forma eficiente. El hecho de utilizar modulaciones OFDM robustas a interferencias y con capacidad de corrección de errores, ha hecho posible un cambio en las redes de difusión multifrecuencia analógicas, consiguiendo así una utilización más eficiente del espectro y una reducción notable de la potencia de transmisión.

3.1.1 Redes MFN

Son las redes de la televisión analógica. Cada centro emisor utiliza una frecuencia de salida diferente a la de entrada, de esta forma se evitan interferencias, además de desaparecer el problema de aislamiento entre antenas para los reemisores. Para cubrir una zona extensa se necesitan varias frecuencias diferentes, estando permitido el re-uso de estas. También se utilizan en TDT.

La planificación de la difusión analógica se ha tenido que enfrentar al problema de las interferencias co-canal, imposibilitando la reutilización del mismo canal con transmisores cercanos.

3.1.2 Redes SFN

Utilizando OFDM, es posible emitir con varios transmisores en el mismo canal si la señal moduladora es idéntica y esta sincronizada. Además, gracias a la inserción del intervalo de guarda el receptor podrá beneficiarse de los ecos recibidos.

Para que los receptores puedan demodular señales en SFN, es obligatorio que éstas estén sincronizadas. Las sincronizaciones necesarias son:

- Sincronización de bit. Una portadora tiene que estar modulada exactamente por los mismos bits en cada estación. La tolerancia a fallo es cero.
- Sincronización de frecuencia. Los transmisores han de transmitir exactamente a la misma frecuencia. También tiene que ser idéntica la frecuencia de muestreo del modulador y la

velocidad de datos del “ Transport Stream ”. Todo esto se consigue con osciladores de precisión y usando una referencia externa común (GPS).

- Sincronización de tiempo. Los transmisores tienen que emitir el mismo símbolo en el mismo instante con una tolerancia de $\pm 1 \mu\text{s}$. Es posible que para evitar ecos fuera del intervalo de guarda en zonas de solapamiento, se introduzca un “offset” temporal.

- Sincronización de la dispersión de frecuencia (scrambling). Como se ha explicado en el punto de 3.5 (Codificación de Canal), los datos siempre se aleatorizan a la entrada del modulador. Esto se hace sumándolos a una secuencia pseudoaleatoria estandarizada, que se resetea cada 8 paquetes MPEG-2. Todos los transmisores tienen que utilizar la misma aleatorización sobre los mismos bits de entrada.

Es decir, todos emiten lo mismo a la vez y en la misma frecuencia.

Para conseguir todas estas sincronizaciones se utilizan referencias frecuenciales y temporales procedentes de un receptor GPS (10 MHz y 1 pulso por segundo).

Toda esta información de sincronización se almacena en paquetes denominados MIP (Mega-Frame Initialization Packet) y se añade al flujo MPEG-2 en los centros cabeceras. Los MIP también contienen el valor de máximo retardo de la red y una copia de los parámetros de transmisión utilizados. Puede incluir opciones adicionales como control de potencia, retardo y frecuencia de cada transmisor.

Una vez la señal llega a los centros transmisores, los moduladores de los equipos son capaces de extraer la información de los MIP y calcular el retardo introducido por la red de transporte y distribución y así sincronizarse.

3.2. Transporte de la información

3.2.1. Radioenlace

La información se genera en los estudios de radio / televisión. Ésta se transporta a unos centros emisores troncales donde se instalan los equipos de cabeceras. [5]

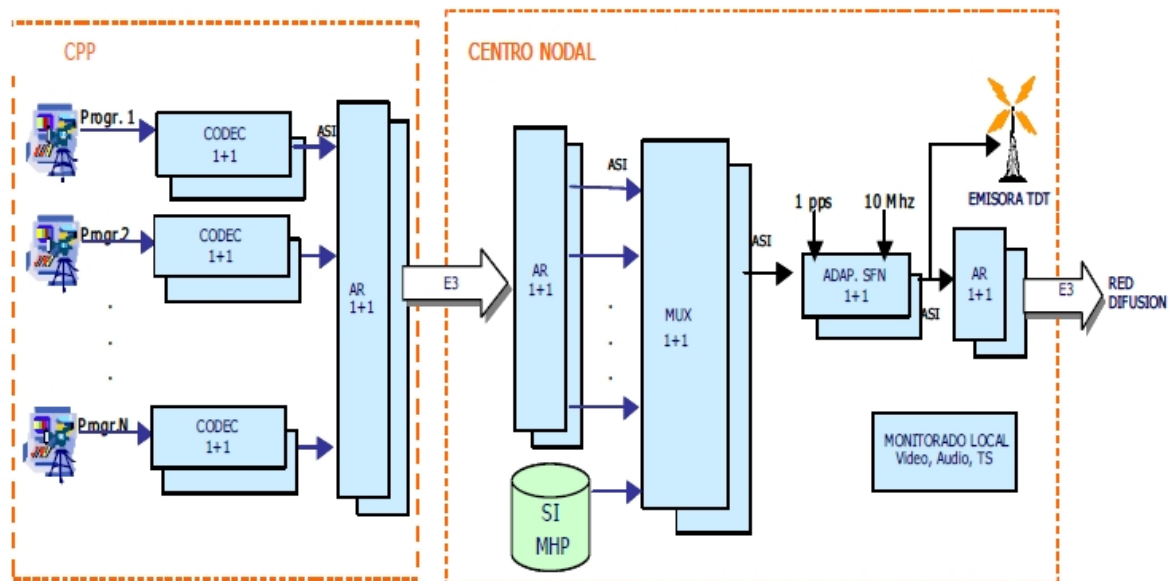


Figura 23: Ejemplo de generación y difusión de la trama ASI.

En cabeceras se multiplexarán todos los servicios, y se les añadirá la sincronización SFN. A partir de aquí la señal ya estará preparada para ser enviada a los diferentes centros emisores. Éstos a su vez podrán redistribuirla. [4]

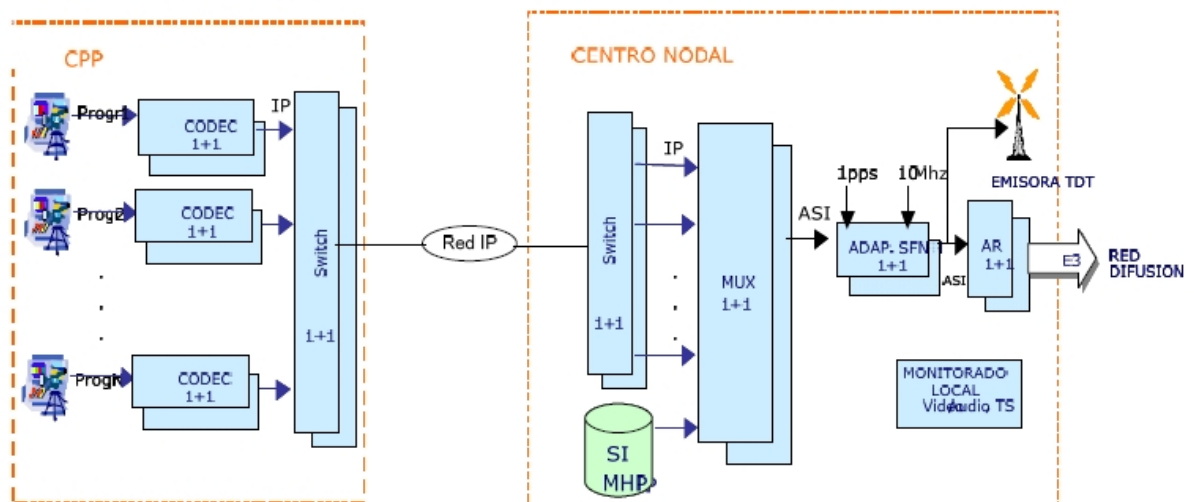


Figura 24: Diagrama de bloques de TX-RX entre C.E. via radio enlaces.

Los protocolos de transporte que se utilizan en los radio-enlaces pueden ser:

- PDH (jerarquía digital plesiócrona): utiliza técnicas de multiplexación por división de tiempo. Los niveles de multiplexación son:

E1: 2 Mbps
E2: 8 Mbps
E3: 34 Mbps
E4: 140 Mbps

- SDH (jerarquía digital síncrona): las tramas se encapsulan en contenedores y se añaden cabeceras de control. Pueden enviarse sobre fibra óptica. Los niveles de transmisión son:

STM-1: 155Mbps
STM-4: $4 \times \text{STM-1} = 622 \text{ Mbps}$
STM-16: $16 \times \text{STM-1} = 2,5 \text{ Gbps}$
STM-64: $64 \times \text{STM-1} = 10 \text{ Gbps}$
STM-256: $156 \times \text{STM-1} = 40 \text{ Gbps}$

Las modulaciones que se utilizan son QPSK, 16QAM, 32QAM dependiendo de la cantidad de información a transportar y la distancia entre enlaces.

En un radio enlace la información que se transporta se recibe en la antena receptora, y llega a la ODU (Out-Door Unit) por una guía de ondas específica para cada frecuencia. Ésta envía a la IDU (In-Door Unit) la información en frecuencia intermedia, donde se demodula. Luego pasa por el conversor a IP que se conecta al Switch. Del Switch entra al conversor IP / ASI y de este a los transmisores.

En transmisión se convierte a IP la señal que se quiere transportar. Se envía al Switch donde se configurará el puerto de salida. Esta señal IP se convierte al protocolo de transporte, para pasar a la IDU que la modulará y la entregará a la ODU. Ésta la amplificará y la transmitirá a la antena a través de la guía de ondas.

La información puede ser redirigida entre enlaces de los Centros Emisores sin visión directa con los Centros Cabeceras, confeccionando así una red de transporte para cubrir la máxima cantidad de zonas habitadas posibles.

Para escoger el equipamiento a instalar, hay que tener en cuenta diferentes variables:

- Cantidad de información: no es lo mismo un enlace para transmitir dos servicios que para cuatro. Para cuatro aumenta el flujo de datos, por tanto aumenta los símbolos (típico 16 QAM para 2 múltiples, 32 QAM para 4). Esto hace que se necesite más energía para la correcta recepción, lo que obliga a aumentar el diámetro de las antenas.
- Distancia entre enlaces: a más distancia se necesitará más energía (antenas mayores). Además hay que tener en cuenta que a frecuencias altas más dispersión, por tanto, si la

distancia entre enlaces es elevada, se utilizará una frecuencia baja. El rango de frecuencias va de 6 GHz a 38 GHz. Por ejemplo en la red de transporte de la señal de TVE se utiliza la banda de 6GHz.

- Factores ambientales: las montañas y el vapor de agua del mar pueden afectar al enlace. Dependiendo de la ubicación, se puede decidir aumentar el nivel de recepción para contrarrestar estos factores. También se utilizan sistemas con diversidad en frecuencia y o espacio para mejorar recepciones difíciles.

3.2.2 Satélite

Hay múltiples que transmiten el mismo contenido a la misma frecuencia para todo el territorio español. Es el caso de las SFNs (67, 68 y 69) y TVE (CH 57). Su transporte se simplifica utilizando la transmisión vía satélite de órbita geoestacionaria, aunque también está disponible la vía terrestre.

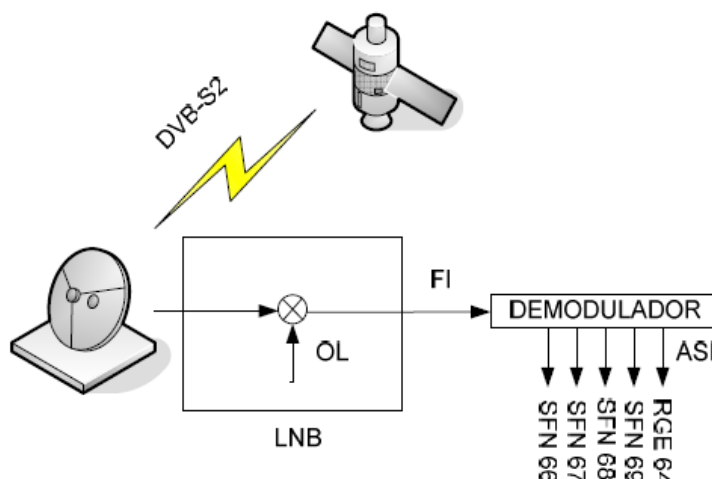


Figura 25: Recepción satélite

La parábola que se utiliza es de 1,2 metros de diámetro, y el satélite que transmite los servicios es el Hispasat (en algunas partes de España también se utiliza el Eutelsat).

La información está modulada en 8PSK (según el estándar DVB-S2), en la banda de 12 GHz.

RTVE también distribuye vía satélite sus desconexiones territoriales.

3.2.3 Reemisores (Gap-fillers)

Otro método para ampliar las zonas de cobertura es aprovechar la señal de difusión en el aire y reemitirla. Este método se utiliza sobre todo para “rellenar” pequeñas zonas de orografía complicada. [12]

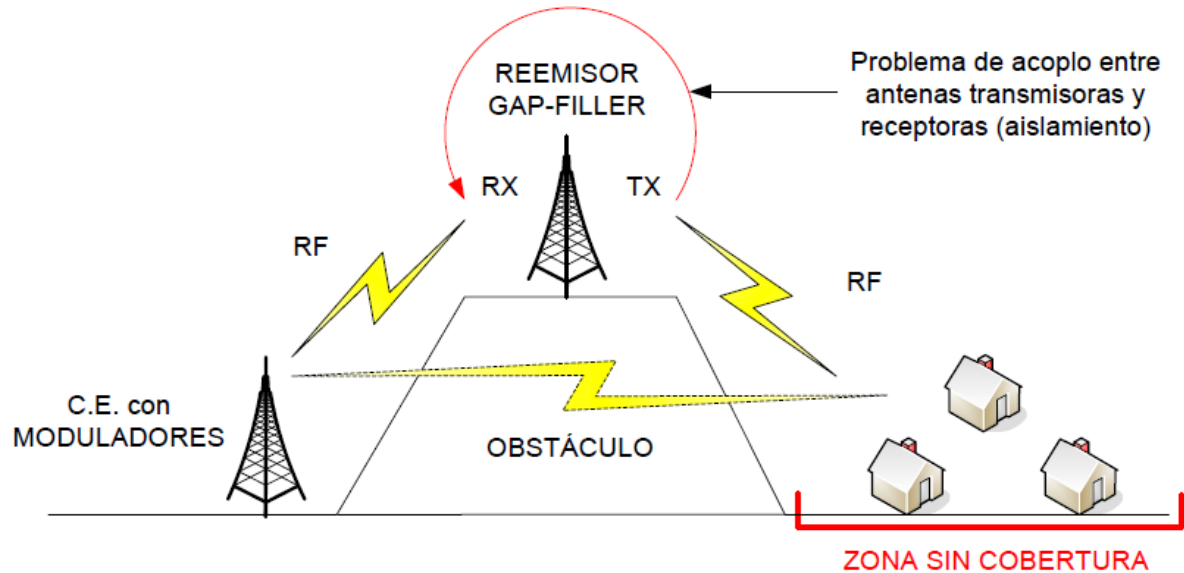


Figura 26: Solución para pequeñas zonas sin cobertura.

El principal inconveniente de utilizar reemisores isofrecuencia o gap-filler, es el acoplo que se produce entre las antenas receptoras y las transmisoras. Este problema hay que solucionarlo in situ. La solución de este problema, es aprovechar la altura de la torre para poner la antena receptora lo más separada posible de la transmisora, además de tener en cuenta sus diagramas de radiación, para conseguir un aislamiento o desacoplo de unos 80dB.

El aislamiento mínimo se puede calcular:

$$G = P_{TX} - P_{RX}$$

G: Ganancia

P_{TX} : Potencia transmitida

P_{RX} : Potencia recibida

Para poder amplificar hasta 30 dBm (1W), si se reciben -45 dBm, la condición de aislamiento será:

$$G > \beta - 10 \quad ; \quad \beta > 85 \text{ dB}$$

Dónde: G = Ganancia; β = Aislamiento

El factor “-10” es la condición mínima de trabajo de los gapfillers obtenida después de diversos tests.

Los mismos reemisores incorporan una etapa de cancelación de ecos, que anulan ecos y compensan parte del aislamiento entre antenas. En el caso de que el aislamiento fuera inferior a la ganancia de transmisión, la calidad (MER) de salida disminuiría.

Los gapfillers que se utilizan actualmente no son regenerativos, es decir, la tasa de error BER de salida será igual o mayor que la de entrada.

En comparación con los transmisores con moduladores, los reemisores o gapfillers son un método de emitir mucho más barato. Los moduladores, además de ser más costosos debido a su compleja tecnología, requieren que su señal de entrada sea transportada por radio enlaces IP y/o satélite, necesitando incorporar antenas, IDU, ODU, Switch y conversores IP / ASI para radio enlaces, y parabólica, LNB, Splitter y conversores DVB-S2 / ASI (Multiple Transport Receiver, MTR) para recepción satélite.

CAPITULO 4.

INSTALACIÓN DE UN CENTRO EMISOR.

4.1 Consideraciones previas.

La razón de instalar un centro emisor de TDT, es la deficiencia de cobertura en algunas zonas. En este caso concreto se ha decidido instalar un centro emisor de servicios TDT en Montefrío, Granada. En esta zona se detectaron núcleos habitados sin cobertura.

Se instala una primera fase de transmisores de televisión digital terrestre. Los servicios corresponden a los canales 57 y 52. Más adelante seguirá una segunda fase con el resto de transmisores, hasta completar los 9 multiplex.

Mediante un estudio radioeléctrico se localizaron los puntos donde es necesario mejorar el nivel de señal. Estos puntos son:

Medida 1 Localización Intersección Calle Belén - Calle san José							
COORDENADAS		37° 19' 15,44" N		4° 0' 24,28" W		Cota 828 m	
CENTRO	VISION DIRECTA	MUX	CH	NIVEL RX dBmicroV	MER	BER	OBSERVACIONES
PARAPANDA	NO	RTVE	52	36	17,2	6,6e-3	DEFICIENTE
PARAPANDA	NO	RTVE	57	39	18,1	4,8e-3	DEFICIENTE

Tabla 4: Medida 1

Medida 2 Localización Intersección Calle Córdoba - A-335							
COORDENADAS		37° 19' 31,65" N		4° 0' 16,27" W		Cota 853 m.	
CENTRO	VISION DIRECTA	MUX	CH	NIVEL RX dBmicroV	MER	VER	OBSERVACIONES
PARAPANDA	NO	RTVE	52	34	16,9	5E-3	NULO
PARAPANDA	NO	RTVE	57	34,5	17	3,5E-3	NULO

Tabla 5: Medida 2

4.2 Ubicación de la caseta y la torre.

La ubicación de la Instalación reemisora será la misma que ocupaban los antiguos equipos analógicos, por lo tanto el acceso, la energía, sistema radiante, etc... No hay que gestionarlos. Si verificaremos su estado, características, etc...

Sus coordenadas son:

37° 19' 20" N 04° 00' 44" W Cota: 875 metros.



Figura 27: Ubicación del centro, apreciándose también los 2 puntos de medida de las tablas 4 y 5.

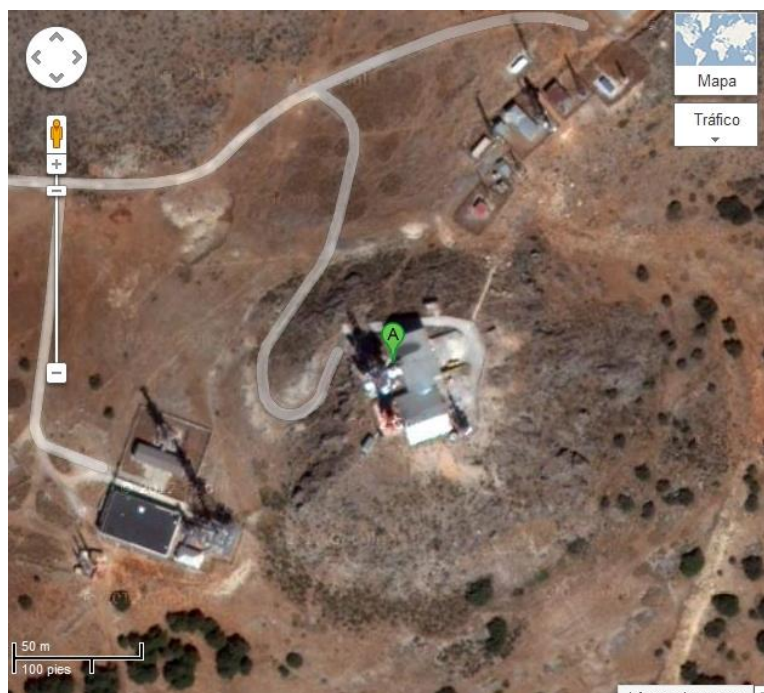


Figura 28: Vista aérea centro emisor Parapanda 1640 m.

4.3 Decisión sobre la recepción y transmisión. Transmisores o Gap-fillers.

La zona a cubrir es prácticamente todo el pueblo. Pero la extensión geográfica no es mucha, dado que en la parte alta del pueblo tenemos visión directa con el Centro Emisor de Parapanda situado en $37^{\circ} 18' 21'' \text{ N}$ $03^{\circ} 55' 37'' \text{ W}$ cota 1640 metros, del que podemos obtener una señal con una calidad excelente y remitirla al núcleo de población.

Pues parece que se podrían cumplir los requisitos para que funcione un gap-filler por lo que, dado su bajo coste en comparación con otras soluciones es recomendable su instalación.

Se considera que para poder remitir TDT con una buena calidad los umbrales de recepción son:

PR dBmicroV	PR (dBm)	MER (dB)	BER
> 55	> -51	>29	<1e - 6

Tabla 6: Umbrales recepción gap-fillers

Siempre se tiene que tener visión directa entre el centro reemisor y el centro origen. También se tiene que tener en cuenta que la distancia máxima entre origen y reemisor no puede superar los 67 Km (distancia máxima para estar dentro del intervalo de guarda), una distancia superior rompe la sincronización SFN.

Una medida de campo en torre da (a 4 metros), los siguientes resultados:

Origen señal	Visión directa	MUX	CH	NIVEL dBmicroV	MER dB	BER
PARAPAND A	SI	SFN 69	69	73	34	9e-8
PARAPAND A	SI	SFN 68	68	73	32	9e-8
PARAPAND A	SI	SFN 67	67	74	34	9e-8
PARAPAND A	SI	MUX1	66	72	33	9e-8
PARAPAND A	SI	RGE	57	74	34	9e-8
PARAPAND A	SI	MUX3	56	76	33	9e-8
PARAPAND A	SI	MUX2	53	76	34	9e-8
PARAPAND A	SI	RGE2	52	76	35	9e-8

Tabla 7: Medida de campo desde el reemisor.

Teniendo en cuenta el mayor coste de instalar un reemisor con moduladores, y que los niveles de recepción de TDT de Parapanda están dentro de los umbrales de la tabla 6, la solución propuesta es un centro reemisor con gap-fillers.

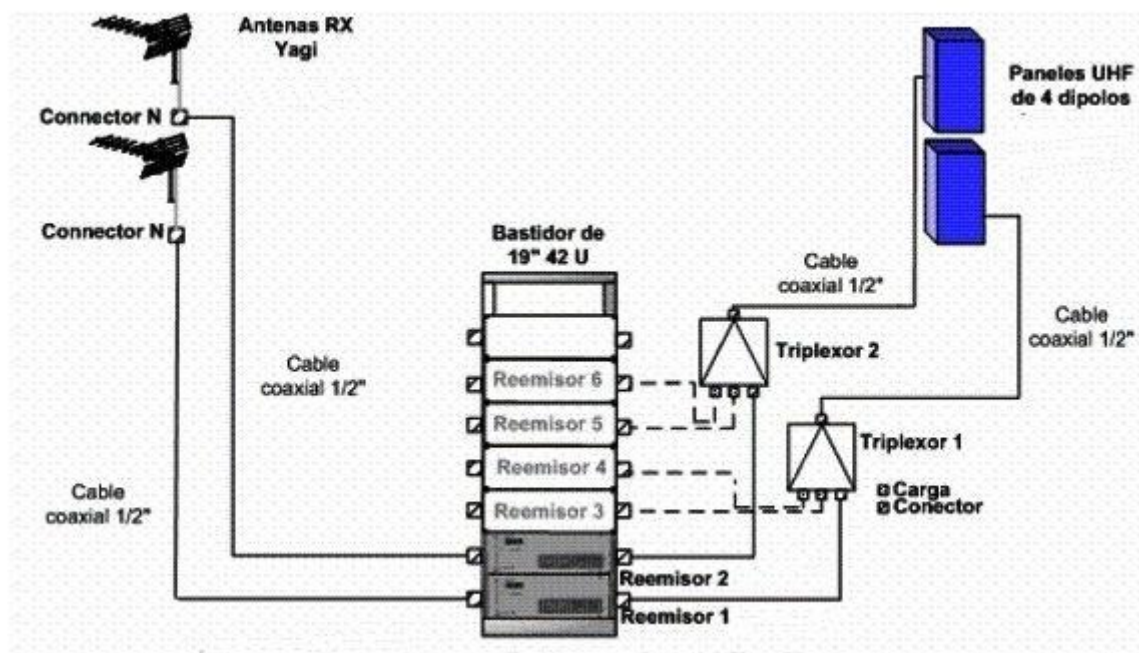


Figura 29: Diseño de los equipos a instalar.

Se instalan dos yagis en recepción.

Si solo se instalara una, habría que instalar repartidores y nos harían perder 3dB en cada canal de recepción.

La altura de instalación es la más alejada de los paneles emisores manteniendo la visión directa con Parapanda.

La mayor directividad de las yagis aumenta el margen de aislamiento.

Se instalan dos triplexores de salida y dos paneles emisores para no aumentar la complejidad de los filtros, y en previsión de la futura instalación del resto de multiplex.

Las tres entradas quedan multiplexadas en una única salida.

Se escogen paneles de cuatro dipolos por su alta ganancia y ancho diagrama de radiación, que permite una amplia cobertura.

4.4 Medidas de cobertura

Los diagramas de cobertura son instrumentos básicos para la planificación de proyectos. A través de estos diagramas es posible predecir con gran exactitud los niveles de intensidad de campo recibidos en puntos concretos.

4.4.1 Modelo de propagación.

Las tecnologías inalámbricas evolucionan constantemente, por lo que los métodos de planificación también tienen que hacerlo. Estos métodos dependerán del tipo de recepción (fija o móvil) y de su ubicación (grandes áreas metropolitanas, pequeñas áreas rurales). [19]

Para poder planificar la cobertura se debe disponer de información cartográfica, que puede ser de diferente resolución:

- Datos de resolución baja. Describen el terreno con una precisión de 300 metros. Este tipo de cartografía se utiliza para propósitos de coordinación y rápido dimensionado de la red. La planificación con precisión de áreas urbanas no se puede hacer con este tipo de resolución.
- Datos de resolución media. Describen el terreno con una precisión entre 10 y 50 metros. Esta predicción de la cobertura se basa en dos diferentes tipos de ficheros cartográficos:
 - El modelado digital del terreno: describe cada píxel con su altitud respecto al nivel del mar.
 - El fichero de “clutter”. Describe el tipo de terreno. Refina la predicción utilizando una aproximación estadística. Cada tipo de terreno se puede definir utilizando sus propios parámetros de propagación.

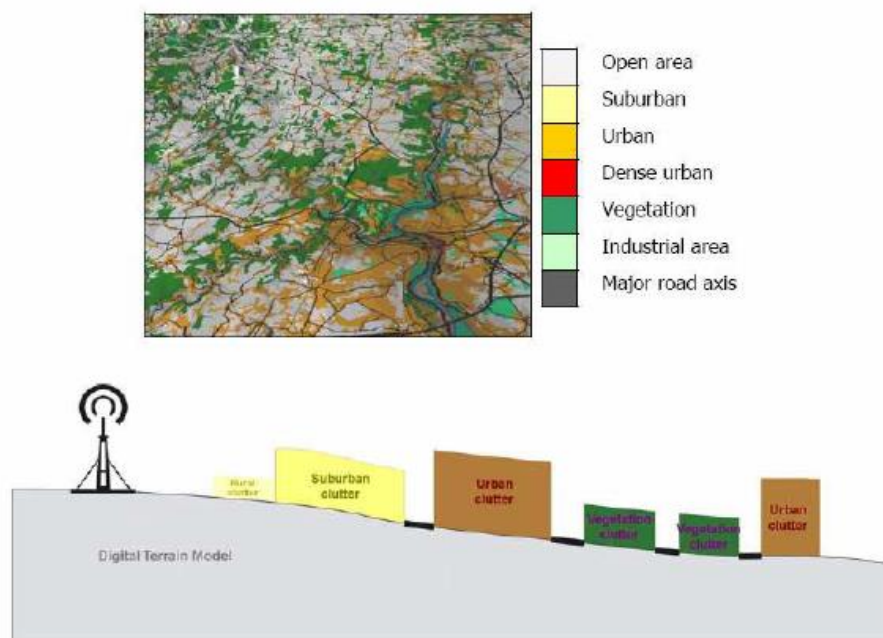


Figura 30: Tipos de terrenos

Utilizando esta resolución de la cartografía se pueden utilizar dos tipos de modelos de propagación:

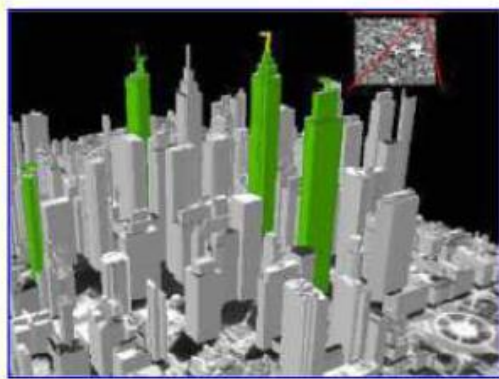
- Modelos estadísticos o empíricos. Modelan el entorno como series de variables aleatorias. Estos modelos son menos precisos, pero requieren poca información sobre el entorno, y mucho menos esfuerzo de procesado para generar las predicciones. Utilizan medidas técnicas de distancia, altura media de los edificios, anchura típica de las calles, Y Están explicados en la ITU-R 1546.
- Modelos deterministas. Hacen uso de las leyes de propagación electromagnética para determinar la señal recibida en una concreta localización. Sus usos típicos

están expuestos en la recomendación ITU-R 525/526, y se le añade los efectos de la propagación (difracción, atenuación “sub-path”). Se debe considerar la posición del receptor, si está por encima del obstáculo o dentro de este.

Los datos de resolución media no tienen información de la altura real de los edificios, sino que contienen información estadística sobre la ocupación terrenal. Esto limita la utilización de estos modelos para altas frecuencias, donde cualquier objeto por encima del suelo es un obstáculo físico para la propagación de la señal.

Para el cálculo de cobertura de interiores no se puede utilizar este método.

- Datos de resolución alta. Describe el terreno con la mayor precisión posible. Se modelan todos los objetos que pueden generar un cambio en la propagación (árboles, edificios).



HR cartography



MR cartography

Figura 31: Ejemplo de cartografías de alta y media resolución.

Dependiendo del tipo de tecnología y de la ubicación del receptor, se utiliza una resolución u otra. Por ejemplo, para telefonía móvil se necesitaría utilizar alta resolución, ya que los receptores pueden estar en interior y exterior. Para TDT se utilizan datos de resolución media, ya que las antenas receptores están principalmente en los tejados de las viviendas.

4.4.1.1 Modelos deterministas

Los cálculos para resolver las pérdidas de señal debido a obstáculos tienen en cuenta diferentes efectos de la propagación:

- Pérdidas en el espacio libre (ITU-R 525). Se considera que hay visión directa entre emisor y receptor:

$$L_{fsd} = 20 \cdot \log(d) \quad (5.1)$$

Dónde:

Lfsd: Pérdidas en el espacio libre.

d: distancia entre Tx y Rx

- Efectos de la difracción (ITU-R 526). Cuantifica la atenuación debida a la obstrucción de la visión directa entre Tx y Rx por uno o varios obstáculos. Se utiliza una aproximación de las integrales de Fresnel:

$$L_d = 6,9 + 20 \cdot \log \left| (v - 0,1) + [1 + (v - 0,1)^2]^{1/2} \right| \quad (5.2)$$

Dónde:

$$v = (h/r)^{1/2} \quad (5.3)$$

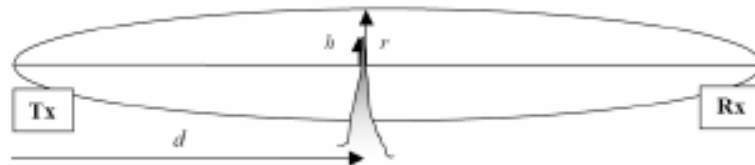


Figura 32: Pérdidas por difracción

Deygout generalizó este método para infinitos obstáculos. La búsqueda de obstáculos es secuencial, cuando se encuentra un primer obstáculo se busca un segundo (uno entre Tx y el obstáculo, y el otro entre el obstáculo y Rx).

Así las pérdidas globales por difracción serán:

$$L_d = \sum_i L_d(v_i) \quad (5.4)$$

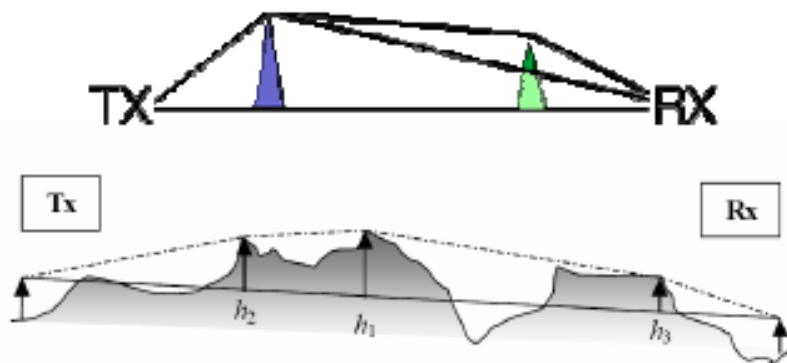


Figura 33: Búsqueda de obstáculos y pérdidas por difracción por múltiples obstáculos (Deygout).

Búsqueda de obstáculos y pérdidas por difracción por múltiples obstáculos (Deygout).

- Atenuación “sub-path” (ITU-R 526). Está relacionada con el modelado de la reflexión por ángulos de incidencia bajos.

Representa la atenuación debida a la parcial obstrucción del elipsoide Fresnel, aunque haya visión directa entre Tx y Rx.

Cuantifica el efecto “sub-path” por múltiples reflexiones según la evaluación de la cantidad de penetración en el terreno.

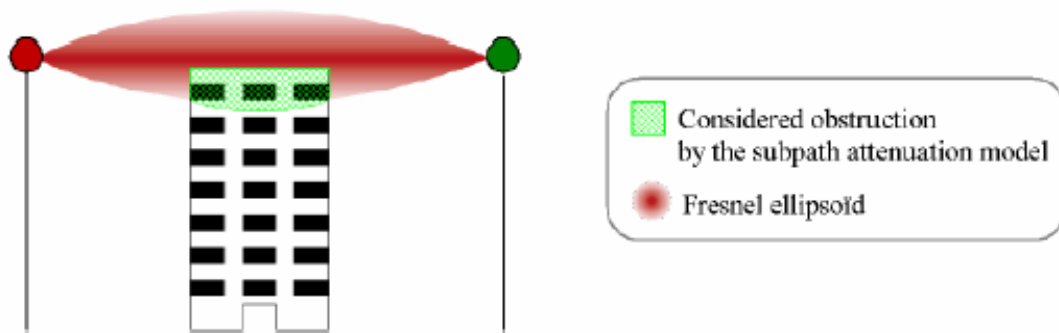


Figura 34: Atenuación ‘sub-path’.

Para la planificación de coberturas en interiores, o para receptores móviles, se debe considerar la penetración en la zona Fresnel en tres dimensiones.

La propagación atmosférica introduce otros efectos:

- Refracción en la atmósfera.
- Absorción por gases o hidrometeoros (lluvia, nieve, etc.)
- Dispersión de energía debido a precipitaciones.
- Desacoplamiento de la polarización de la onda.

Pero debido a su difícil predicción, no se acostumbra a considerar para los diagramas de cobertura.

4.5 Generación de coberturas

4.5.1 Software utilizado

El software que se va a utilizar para el cálculo de coberturas es RadioMobile. [20]

RadioMobile es un software de libre distribución para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, características de las antenas, pérdidas, etc.) que quieren simularse.

Este software implementa con buenas prestaciones el modelo Longley-Rice, modelo de predicción troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Además de tener múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones. Los parámetros a introducir para realizar las

simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación para la que estarían destinados.

Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED.

Al igual que el modelo de propagación en el que se basa, permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

4.5.2 Mapa de la zona

Con Google Earth hemos buscado un mapa de la zona en cuestión, donde se ha situado el pueblo de Montefrío, y el centro emisor de TDT, Parapanda, además del punto dónde se ha montado el reemisor Gapfiller.

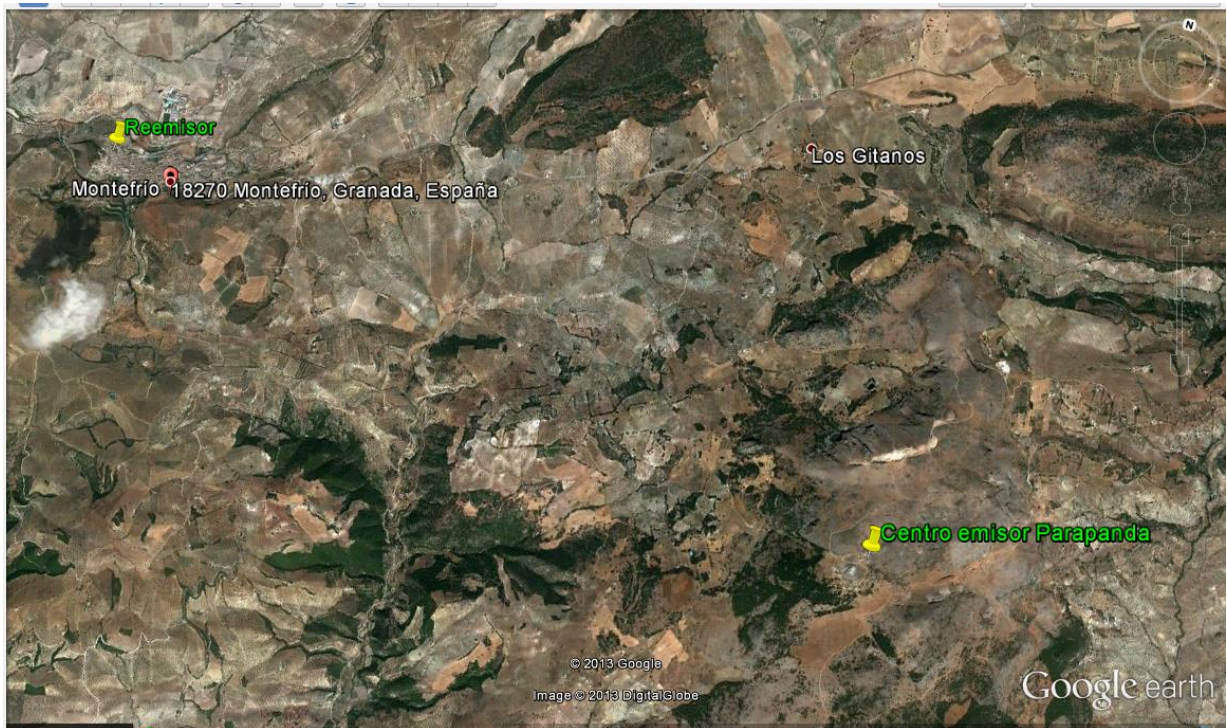


Figura 35: Mapa de la zona afectada

Se ha medido también la distancia en línea recta con Google Earth, 7.79km, para que se aprecie que el problema de que la señal no llegue bien al pueblo no es por la distancia del centro emisor, sino por el desnivel que tiene el pueblo en cuestión como se muestra en la figura 37.

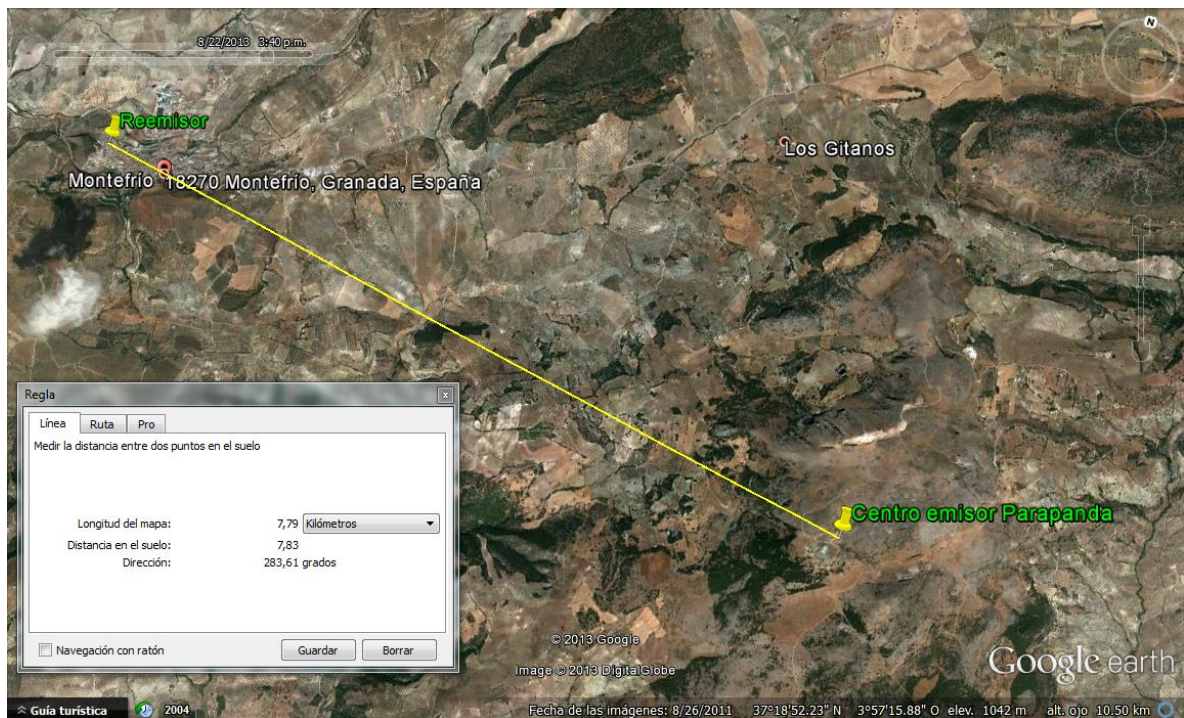


Figura 36: Medida de la distancia en línea recta

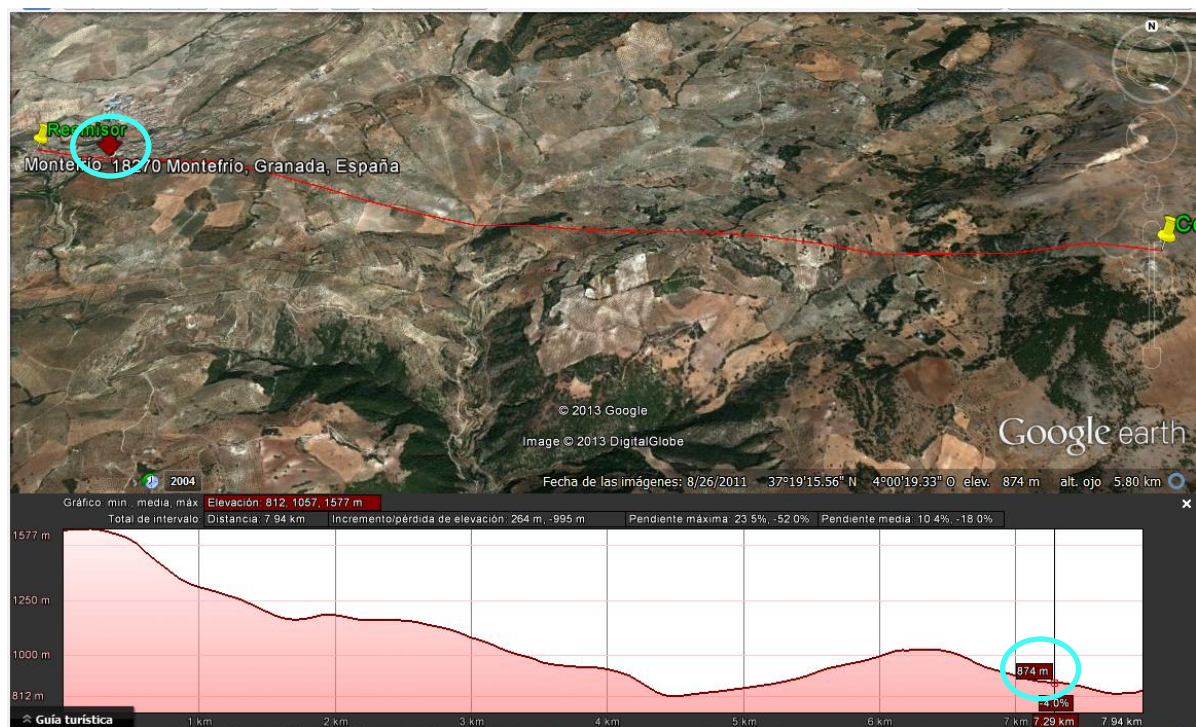


Figura 37: Desnivel de la zona

Marcado con dos círculos en azul celeste en la figura 37, vemos que la cota de Montefrío anda sobre unos 870 metros, y en el gráfico se puede observar que se encuentra detrás de una loma, respecto a la señal de Parapanda, por lo que se genera una zona de sombra.

4.5.3 Configuración de RadioMobile y simulación de coberturas.

Para configurar RadioMobile, se irá al menú **File: Map properties**.

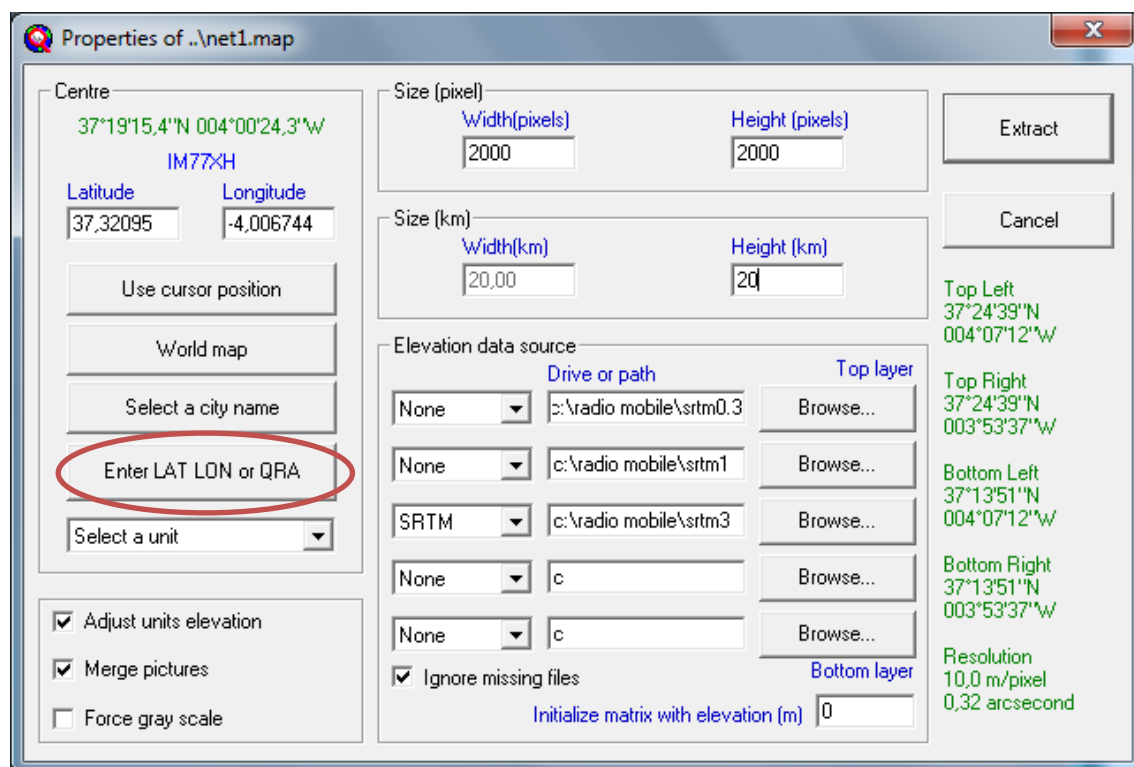


Figura 38: Configuración del mapa

En esta opción se deberán meter la coordenadas del centro del mapa que se quiera mostrar, para ello se han metido metiendo la latitud y la longitud, y se le da a ok.

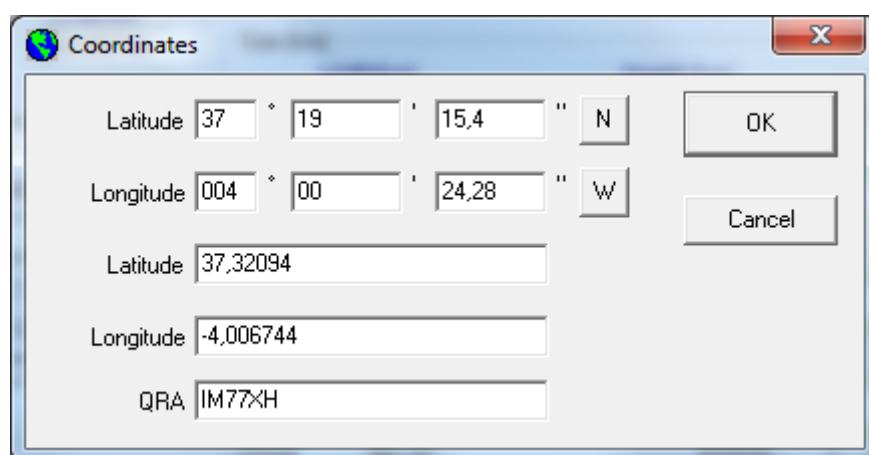


Figura 39: Coordenadas del punto centro que tendrá el mapa

Se ha tomado como punto centro para el mapa uno de los puntos de medida que se tuvieron en cuenta para ver las deficiencias de cobertura, exactamente el punto de medida dos.

Se ha configurado también el mapa para que se dibujen curvas de nivel cada 20m de altitud. En la figura 40 vemos la configuración para ello.

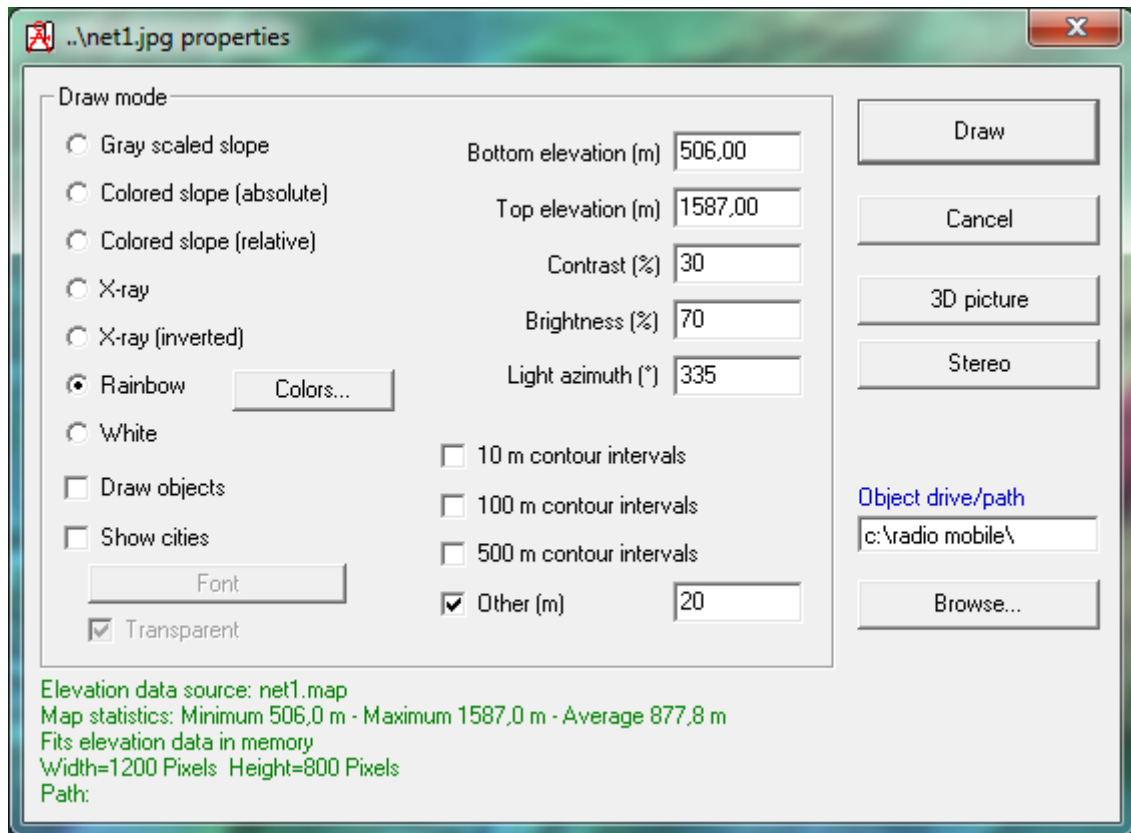


Figura 40: Configuración curvas de nivel cada 20m

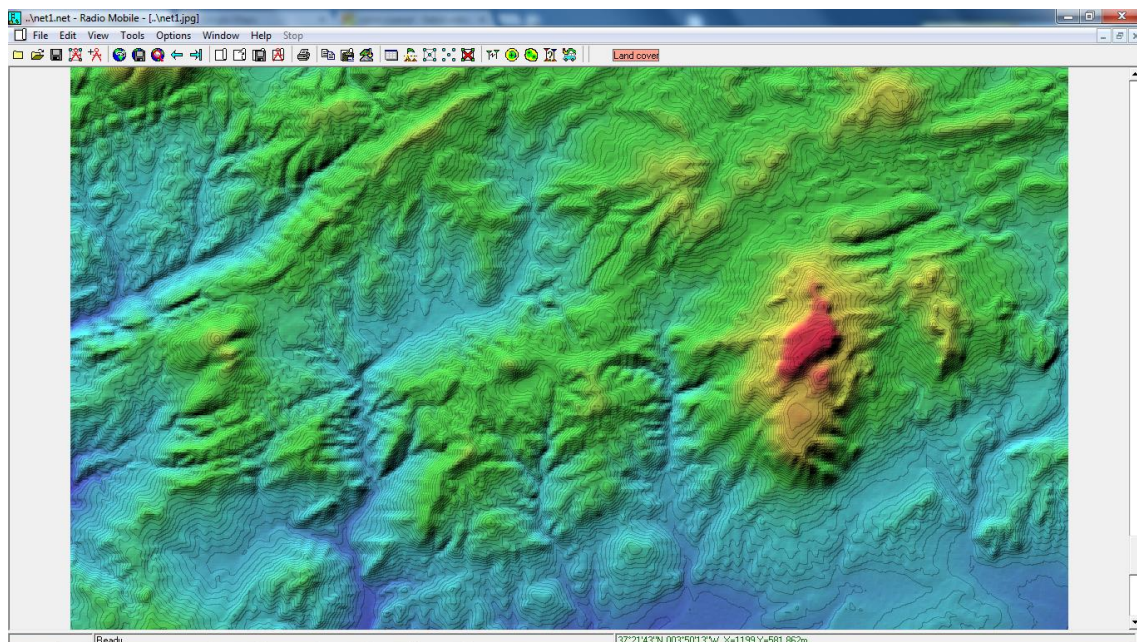


Figura 41: Mapa resultante centrado en Montefrío

Inmediatamente se procede a configurar los emplazamientos: el centro emisor de Parapanda, que es de dónde el reemisor de Montefrío cogerá la señal primaria para reemitirla al pueblo, el reemisor Gap-Filler, y Montefrío.

En el programa, a los emplazamientos se les denomina units.

File: Unit properties.

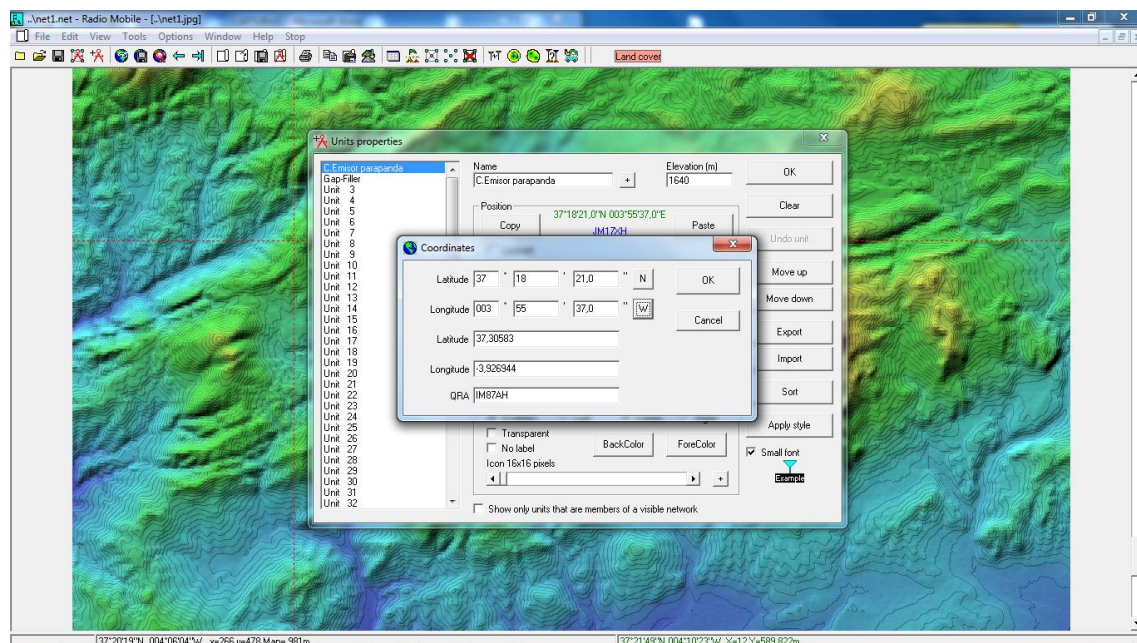


Figura 42: Creación del emplazamiento Parapanda

Se le da el nombre al emplazamiento, en este caso C.Emisor Parapanda, y se meten las coordenadas para que se pueda situar en el mapa creado. Igualmente se hace para situar el GapFiller (figura 43) y para situar Montefrío (figura 44).

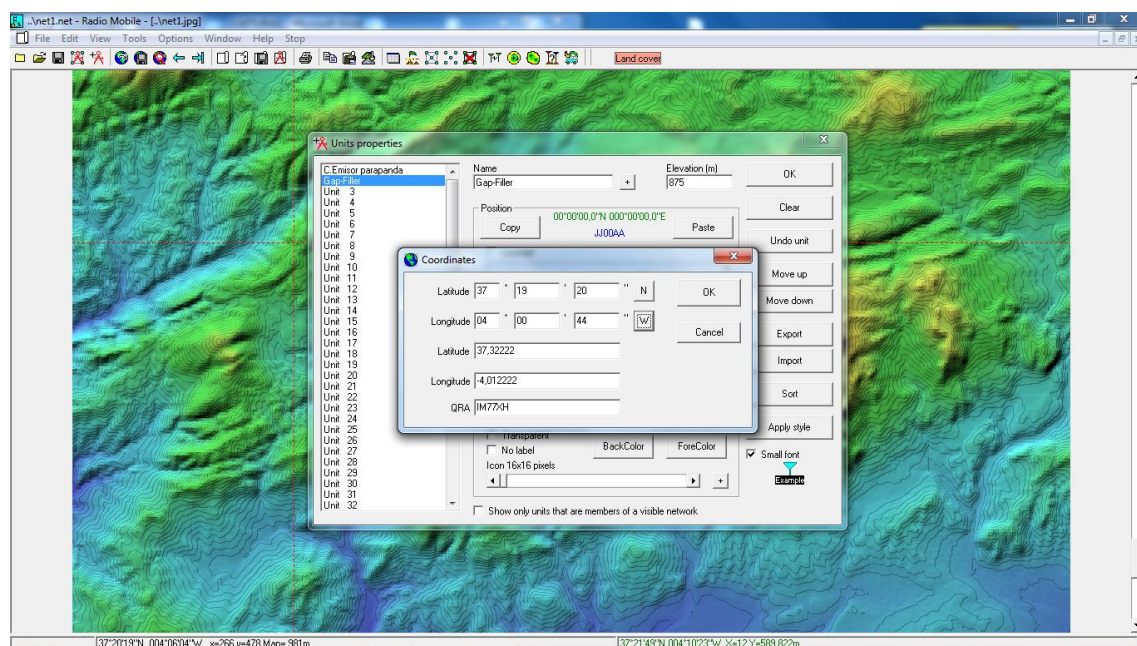


Figura 43: Creación de GapFiller

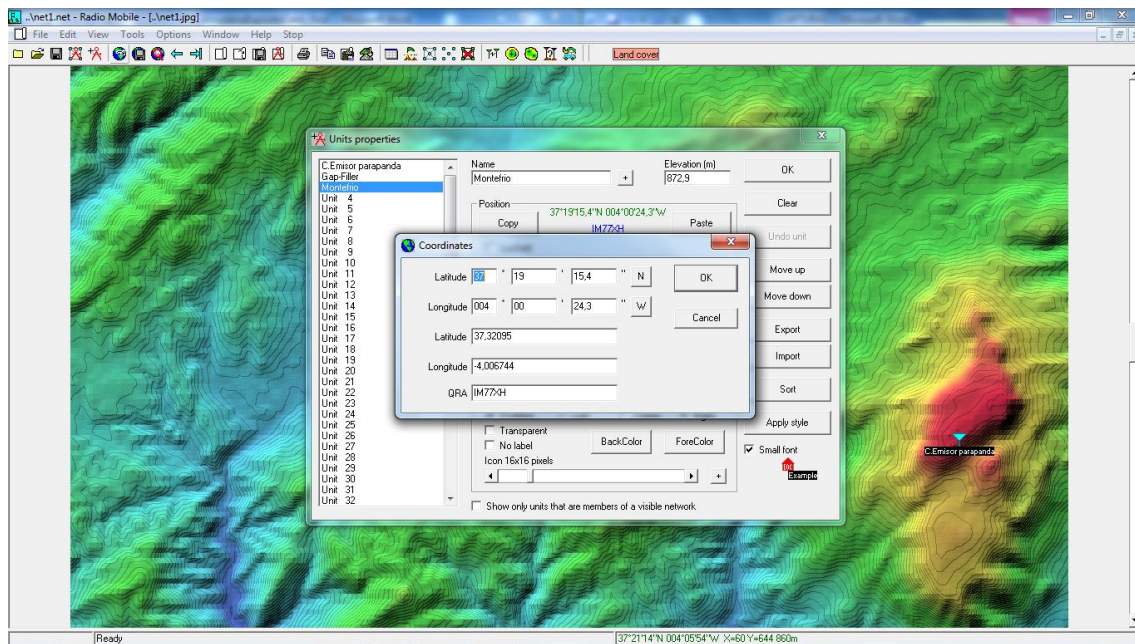


Figura 44: Creación de Montefrio

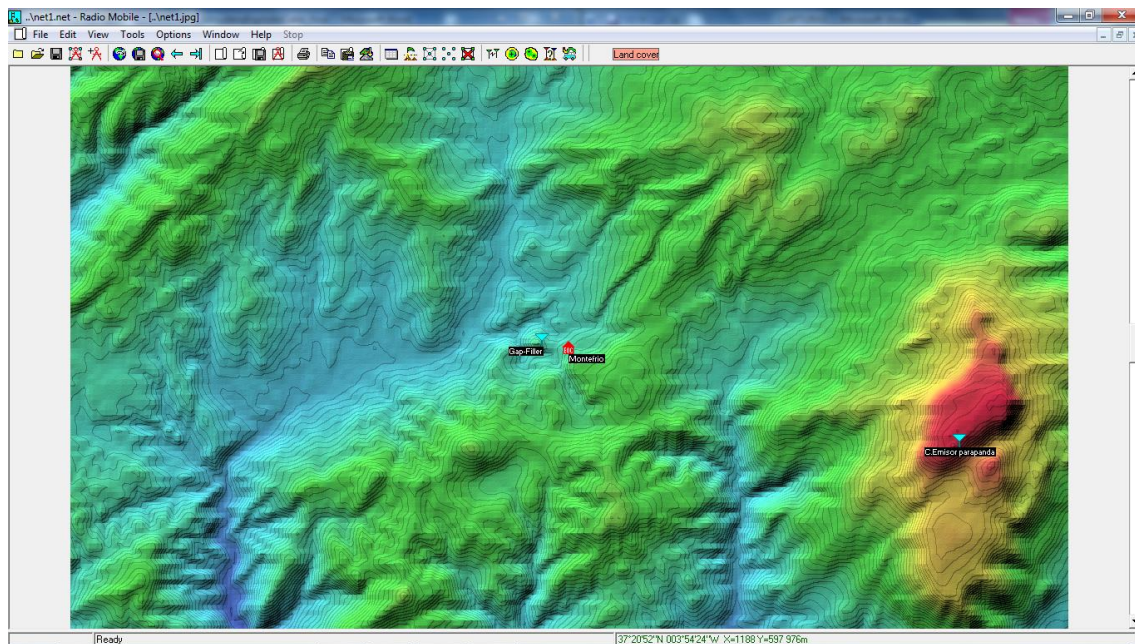


Figura 45: Mapa de la zona con los emplazamientos.

Se procede a configurar el radio enlace.

File: Networks properties.

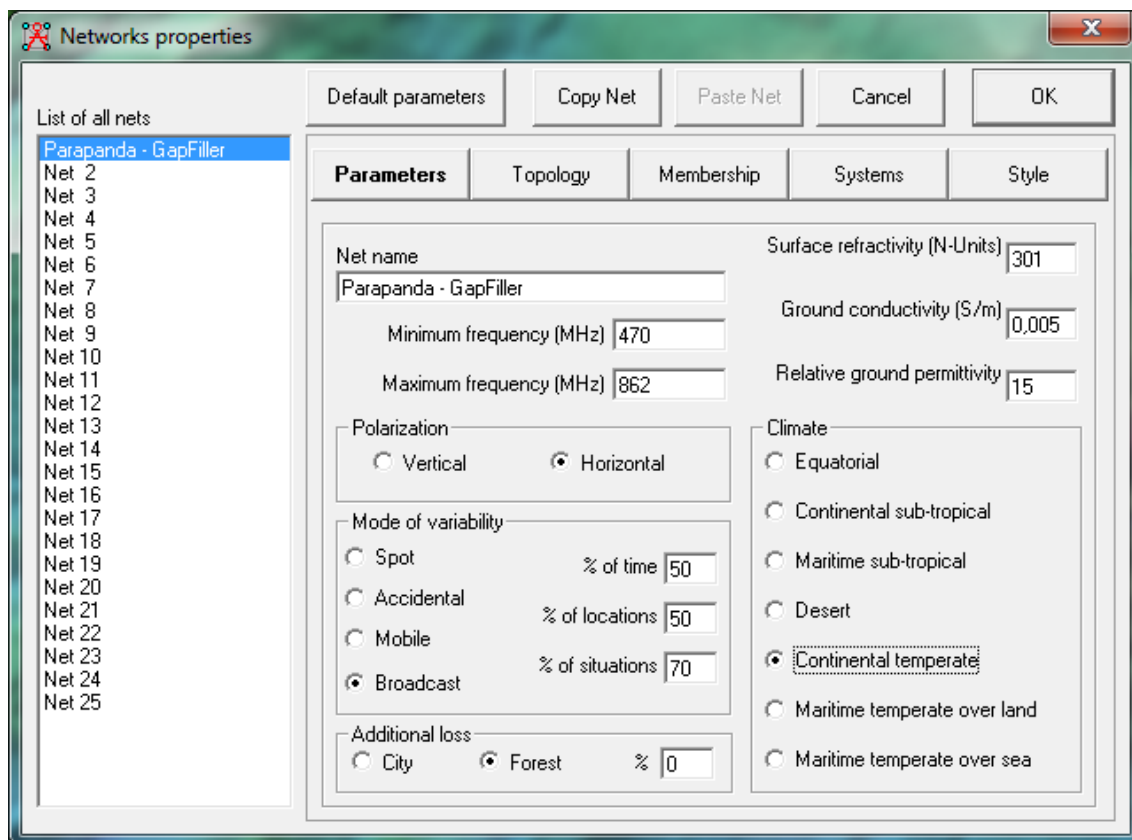


Figura 46: Creación de la red Parapanda – GapFiller

Se le ha dado el nombre a la red, Parapanda – GapFiller, porque se tiene en cuenta la señal que radia Parapanda y la que recibe el reemisor GapFiller.

Se le da un rango de frecuencias de **470 a 862 Mhz**, que corresponde a la emisión TDT, **polarización Horizontal** y **broadcast**. El clima de la zona es lo más parecido a un continental, por lo que se selecciona **Continental Temperate**.

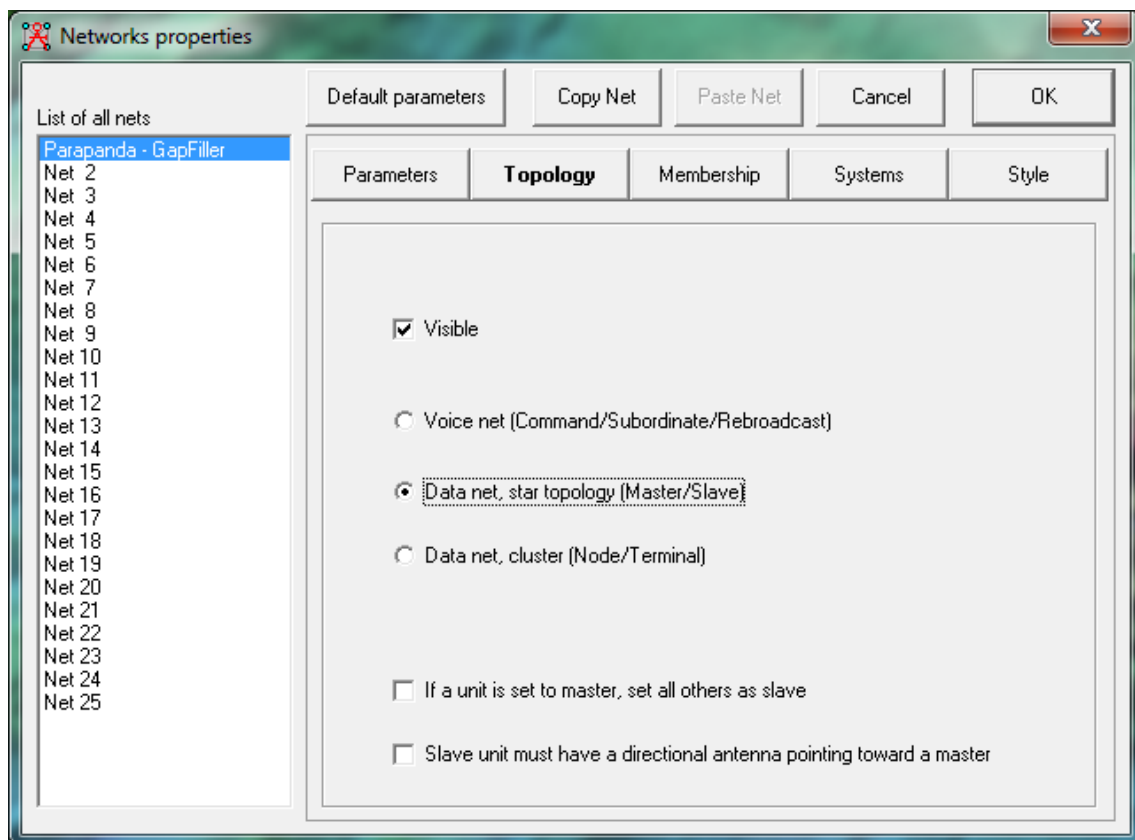


Figura 47: Topología: Red de datos, maestro – esclavo

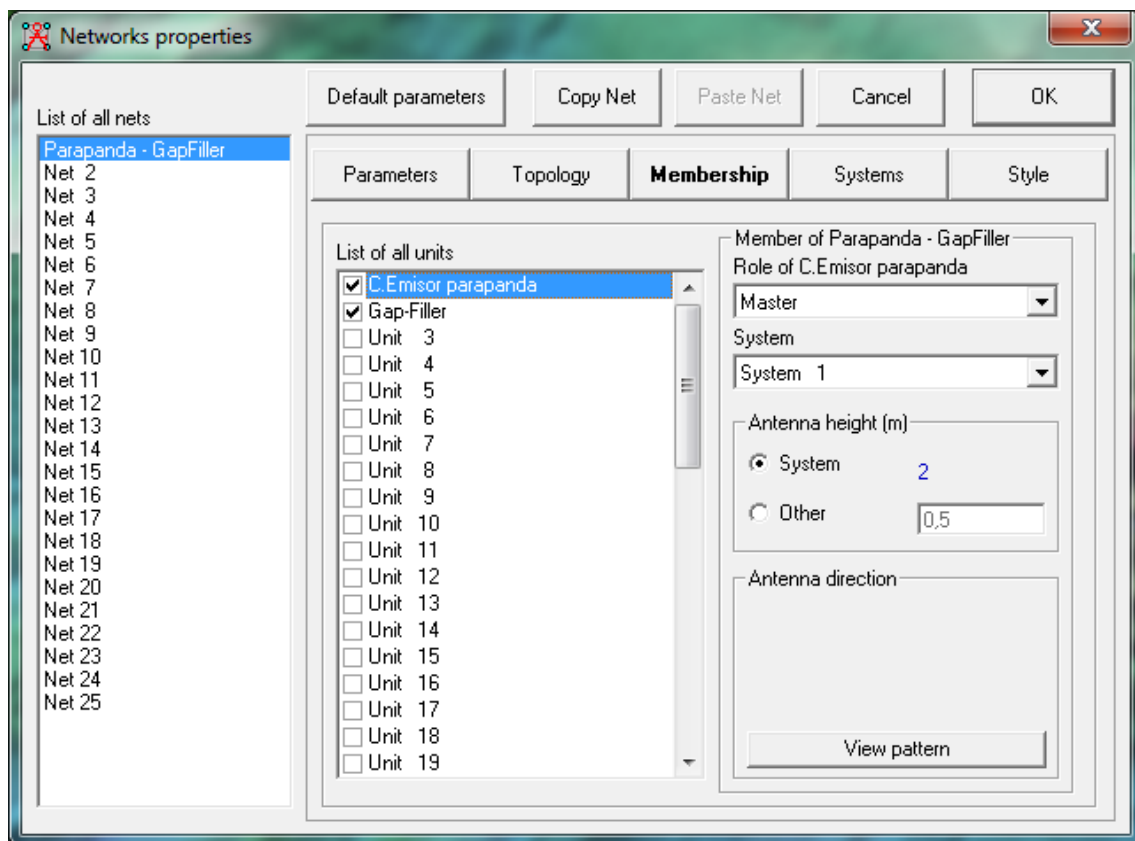


Figura 48: Miembros pertenecientes a la red Parapanda – GapFiller

En Membership debemos seleccionar los emplazamientos que van a pertenecer a la red. Al seleccionar C.Emisor Parapanda en la columna izquierda vemos que se debe seleccionar el System 1, y tener cuidado que al seleccionar GapFiller debemos ponerle un sistema diferente, system 2.

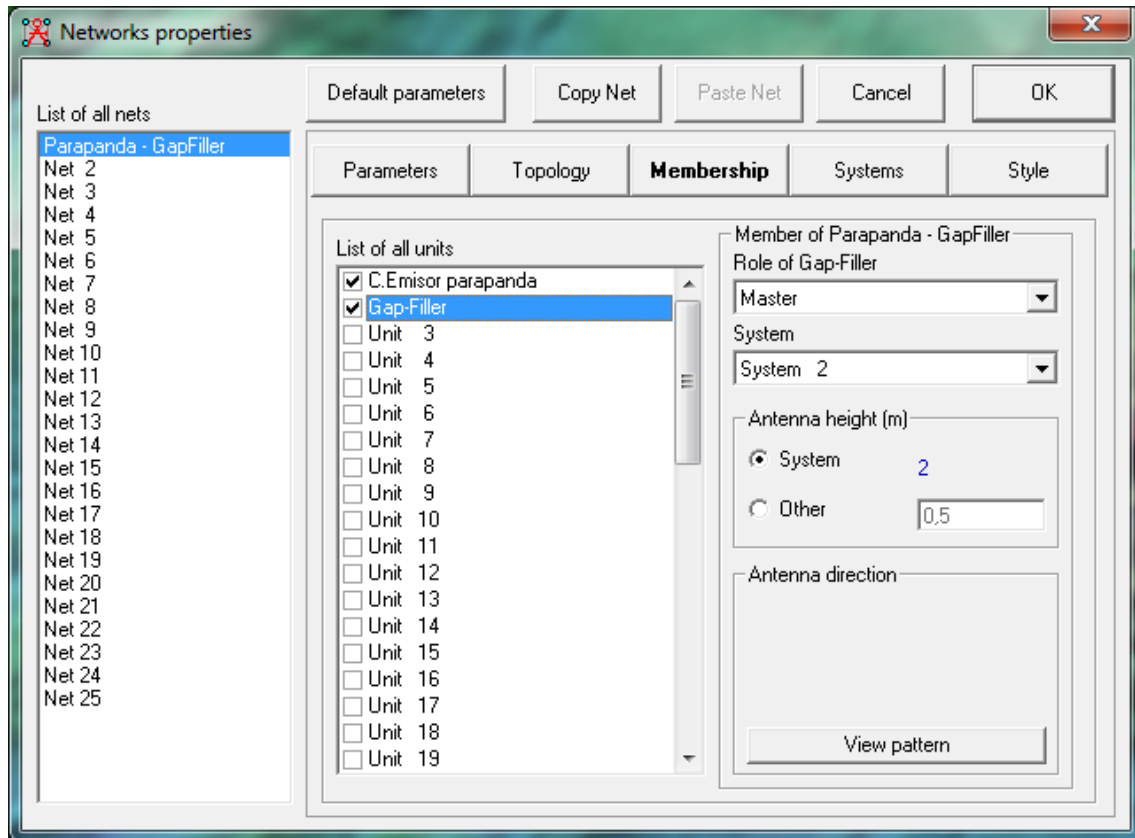


Figura 49: Membership GapFiller

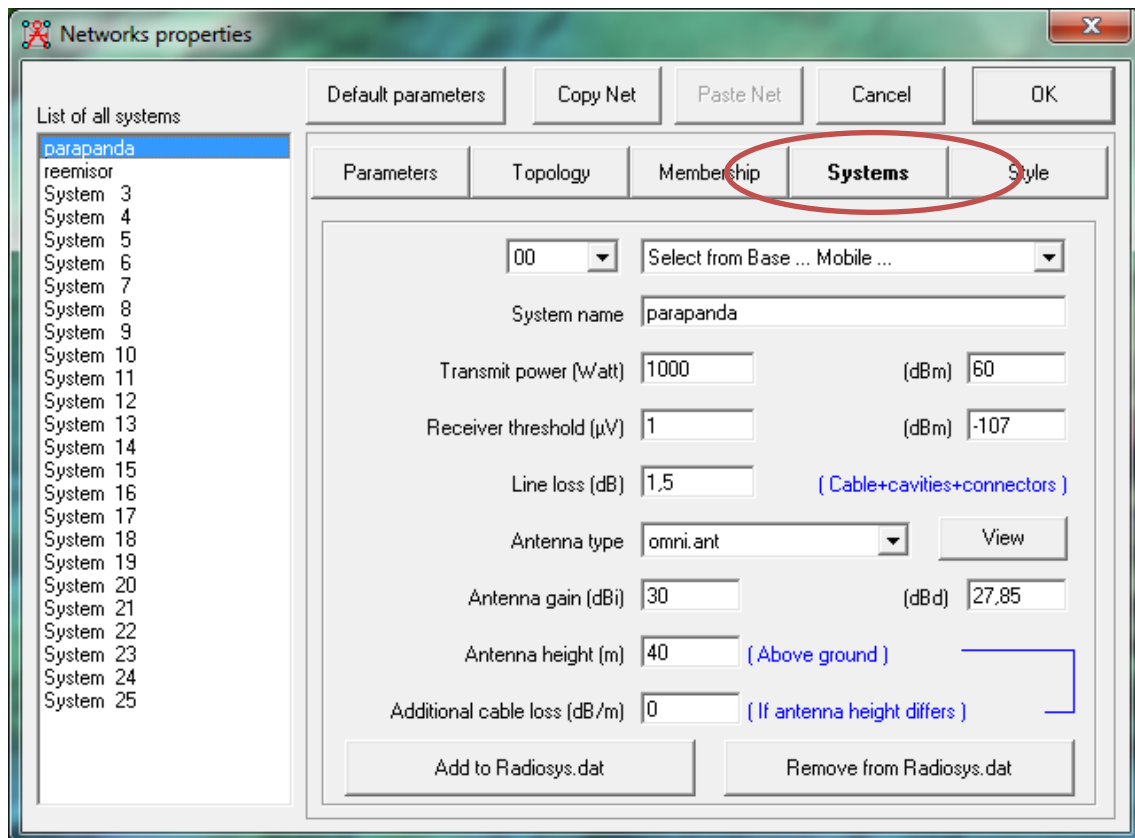


Figura 50: Configuración system 1 -> Parapanda

En la pestaña **Systems** se cambia el nombre a los diferentes sistemas que configuramos en los pasos anteriores para las propiedades de los miembros de la red.

A system 1, que es el asociado a Parapanda, se le pone el nombre 'Parapanda'.

También se configuran los demás parámetros que se necesitan para simular la red, se puede observar en la figura 50.

Las pérdidas de los cables, se desprecian en este emplazamiento.

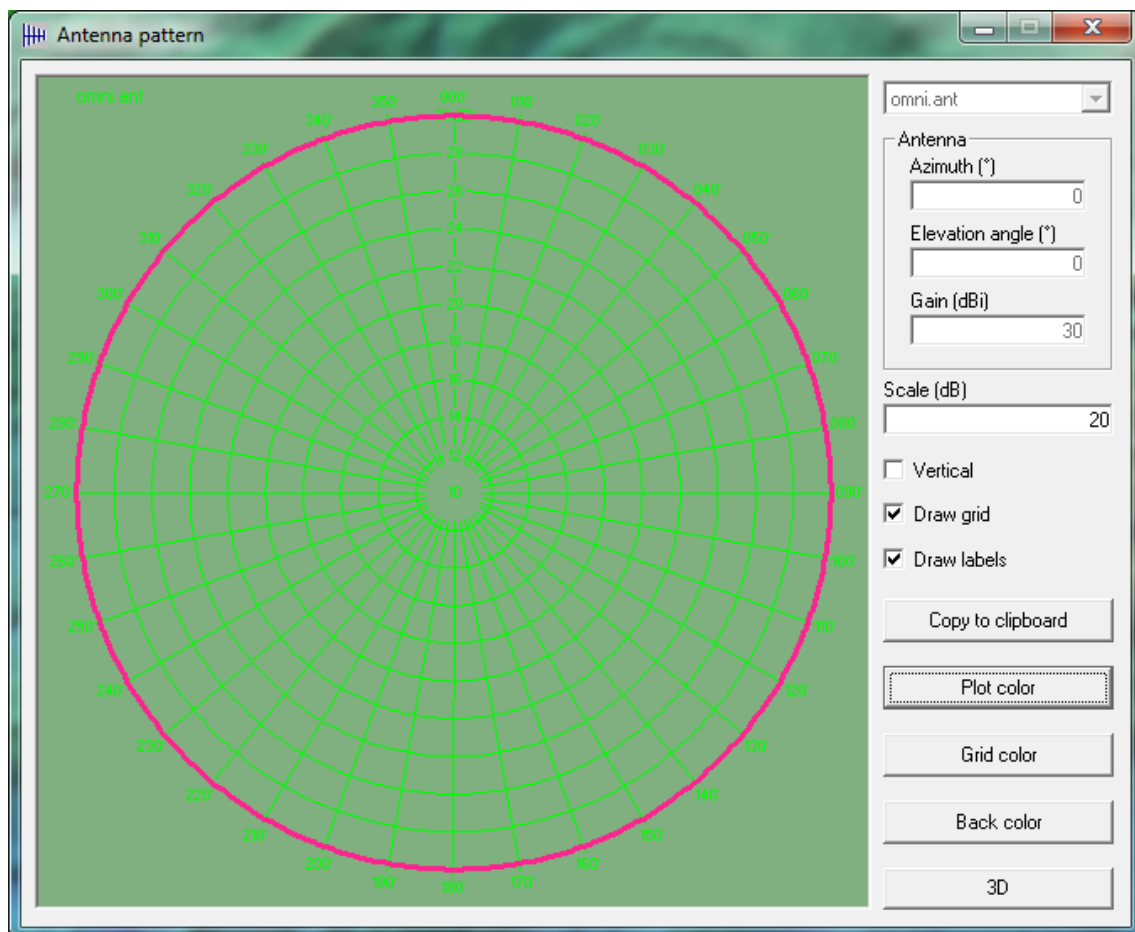


Figura 51: Patrón de la antena Omnidireccional de Parapanda

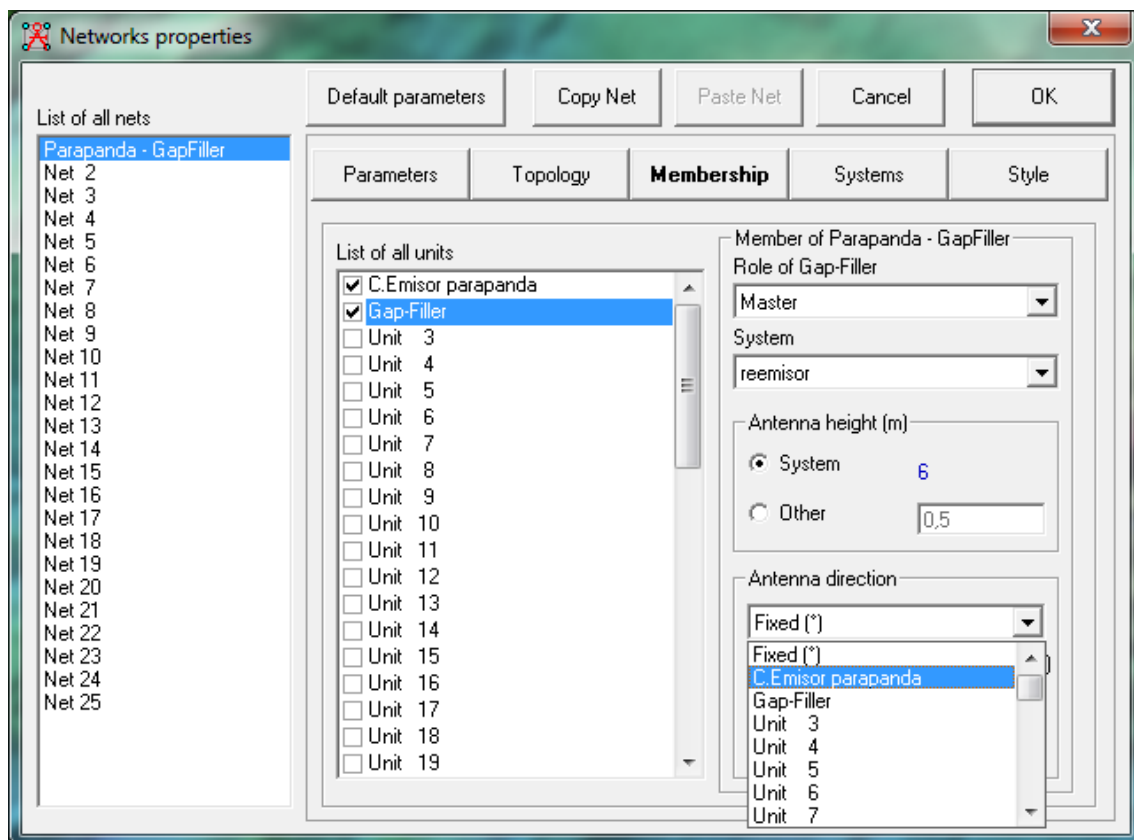


Figura 52: Configuración del GapFiller como miembro de la red

Como GapFiller tiene una antena direccional, se debe configurar su dirección, como se muestra en la figura 52.

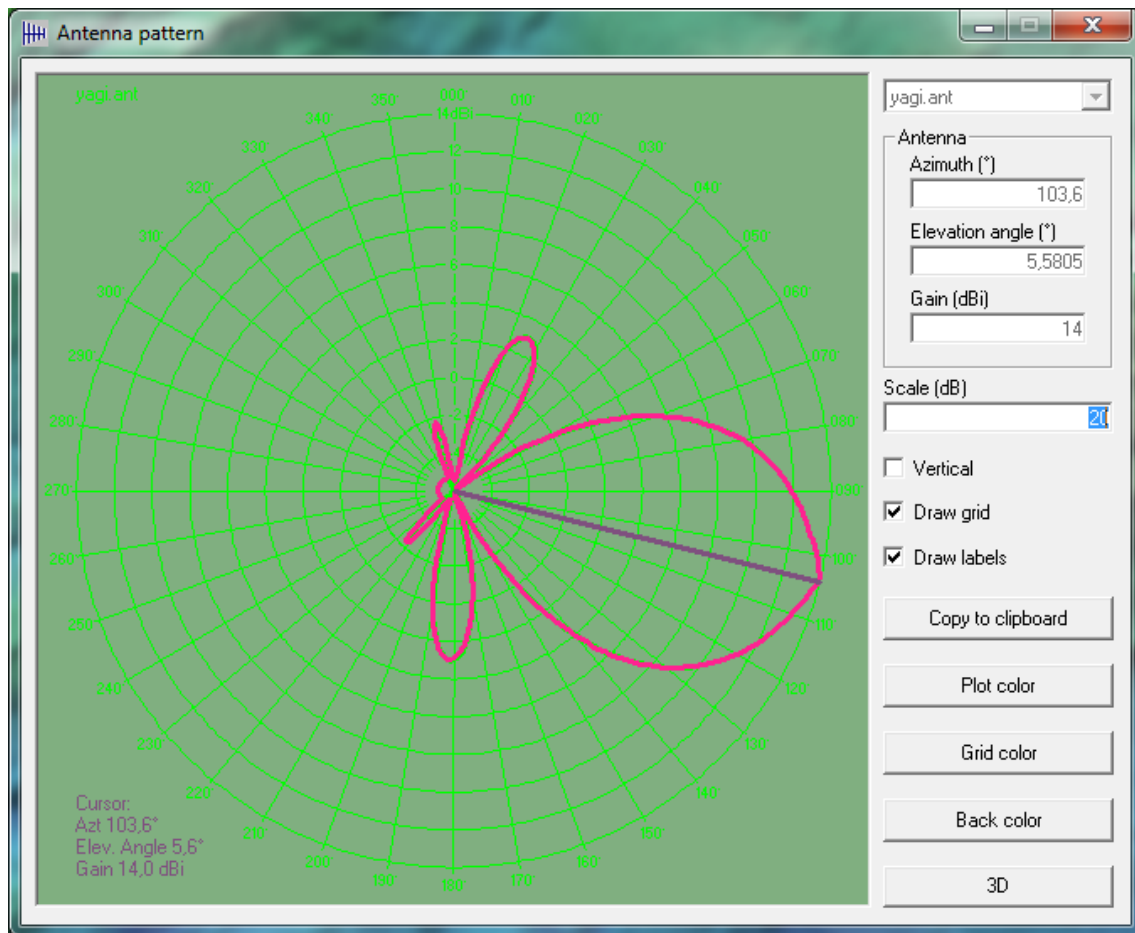


Figura 53: Diagrama de la yagi receptora del GapFiller en 2D

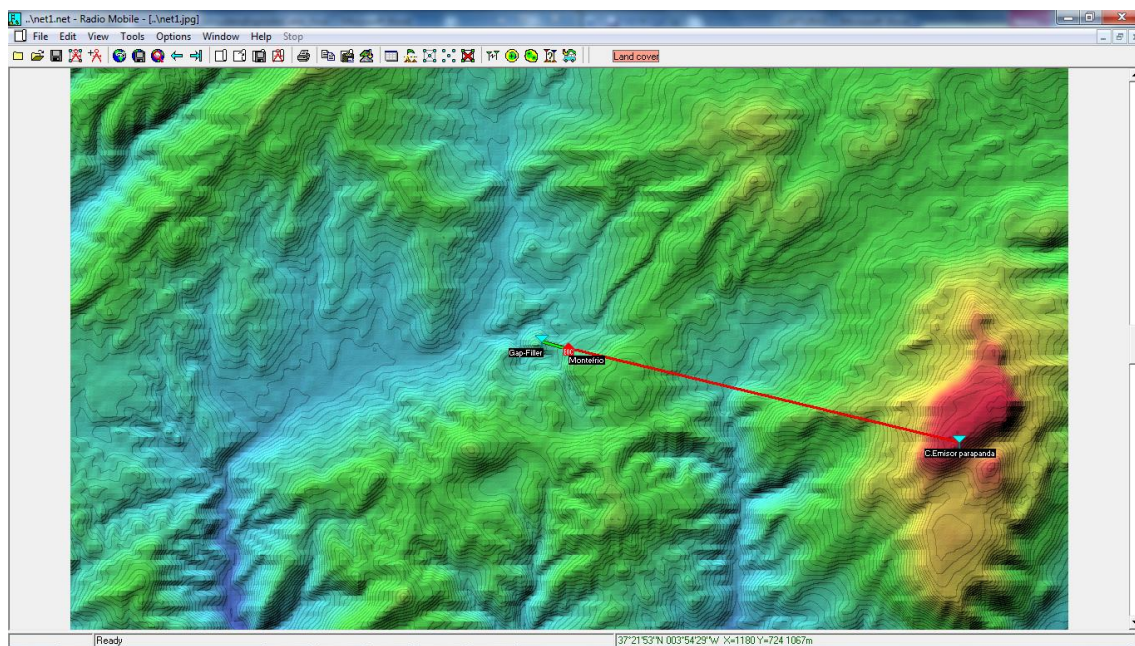


Figura 54: Mapa con la representación de la red Parapanda – GapFiller

En la figura 54 se puede observar la representación de la red Parapanda – GapFiller que se ha creado. A continuación se muestra el radio enlace.

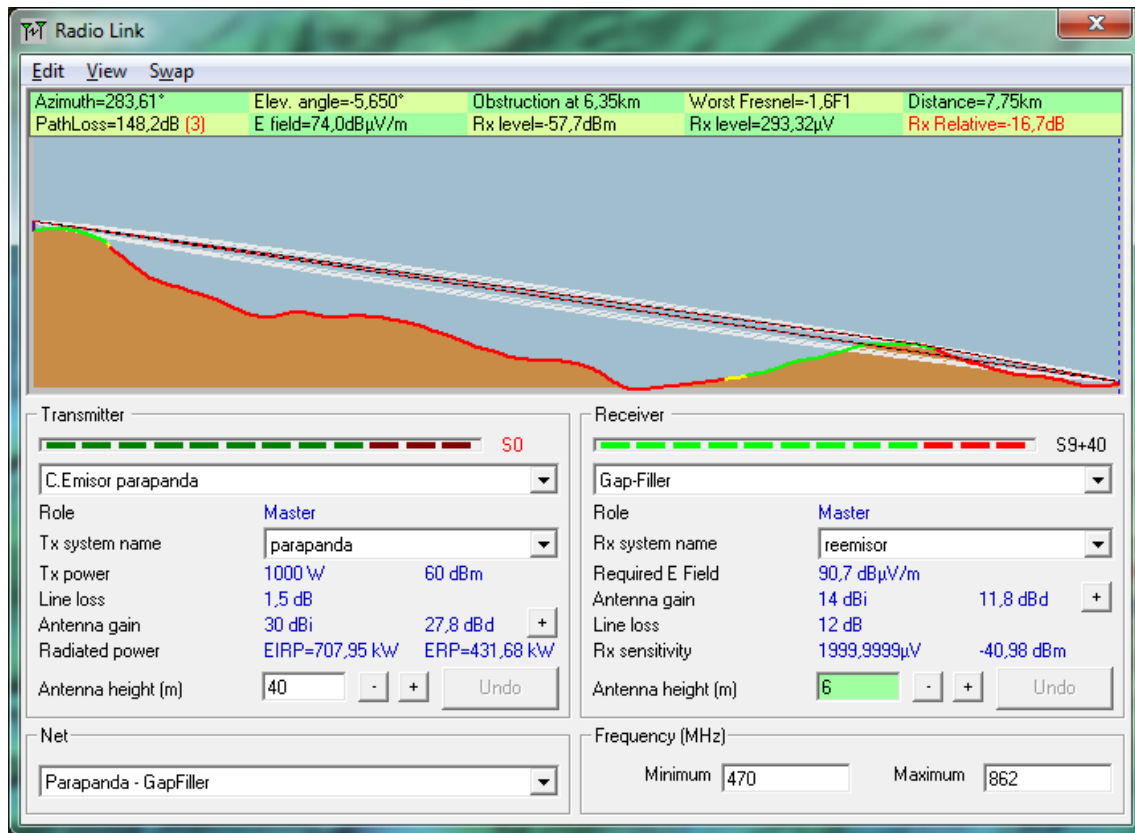


Figura 55: Radio link para la red Parapanda - GapFiller

En las zonas donde el contorno se muestra en rojo en la figura 55, es donde la cobertura no llega bien, y las zonas en verde donde la cobertura llega muy bien.

Se crea otra red diferente siguiendo los mismos pasos, que sea del GapFiller a Montefrío, para ver como el gap filler radia la señal hacia el pueblo. Seguidamente se muestran las capturas más significativas.

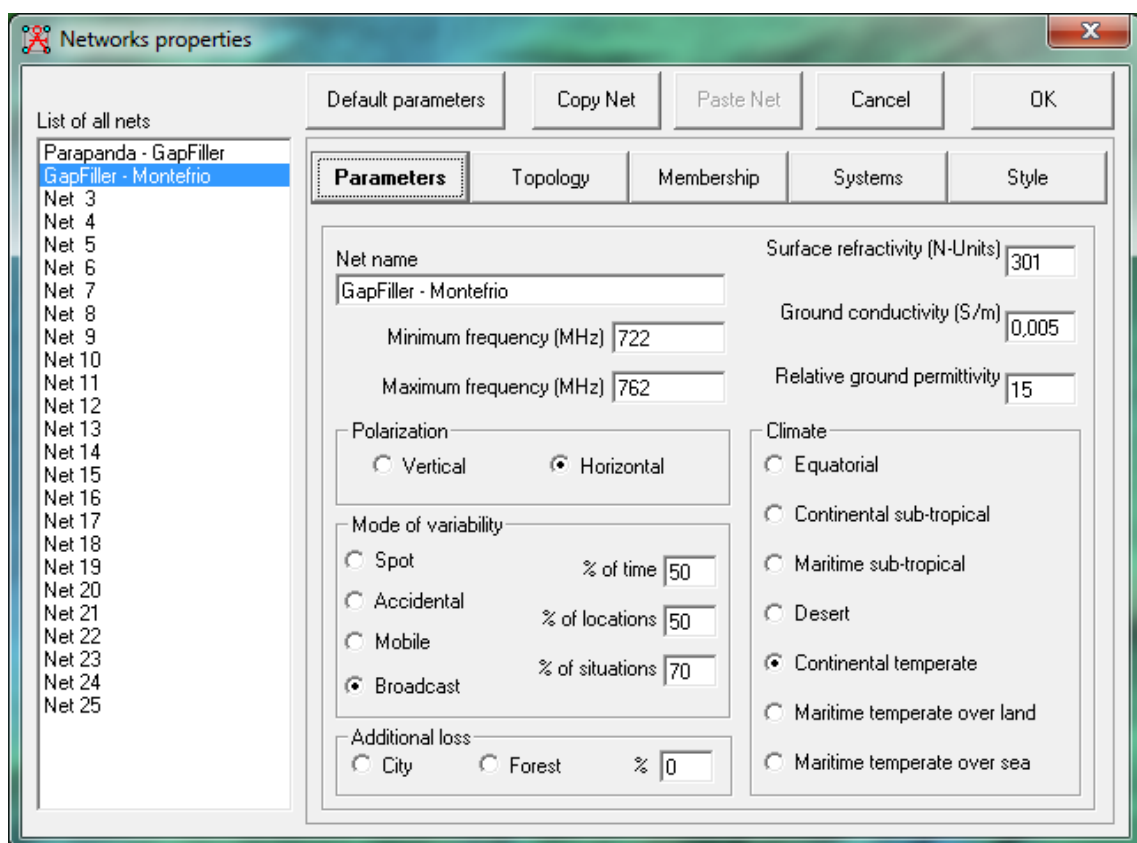


Figura 56: Configuración Parameters red GapFiller-Montefrio

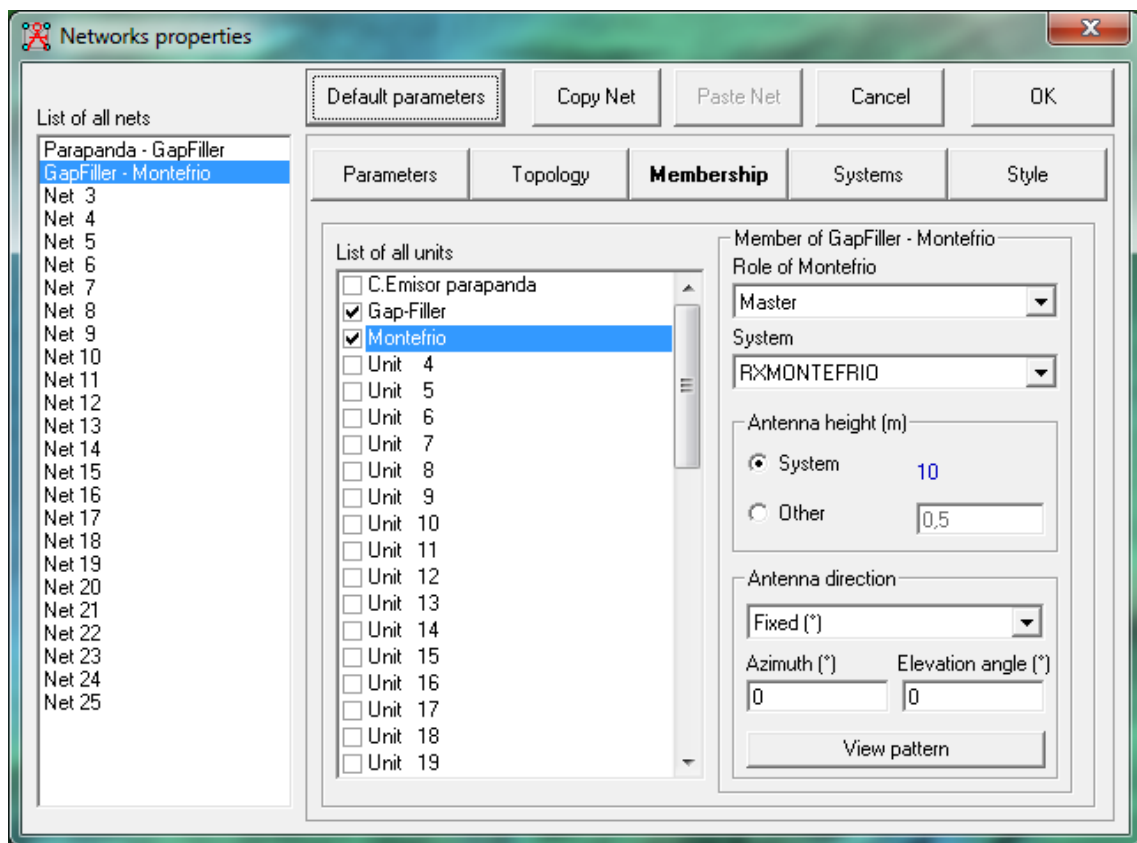


Figura 57: Configuración Membership de la red GapFiller-Montefrio

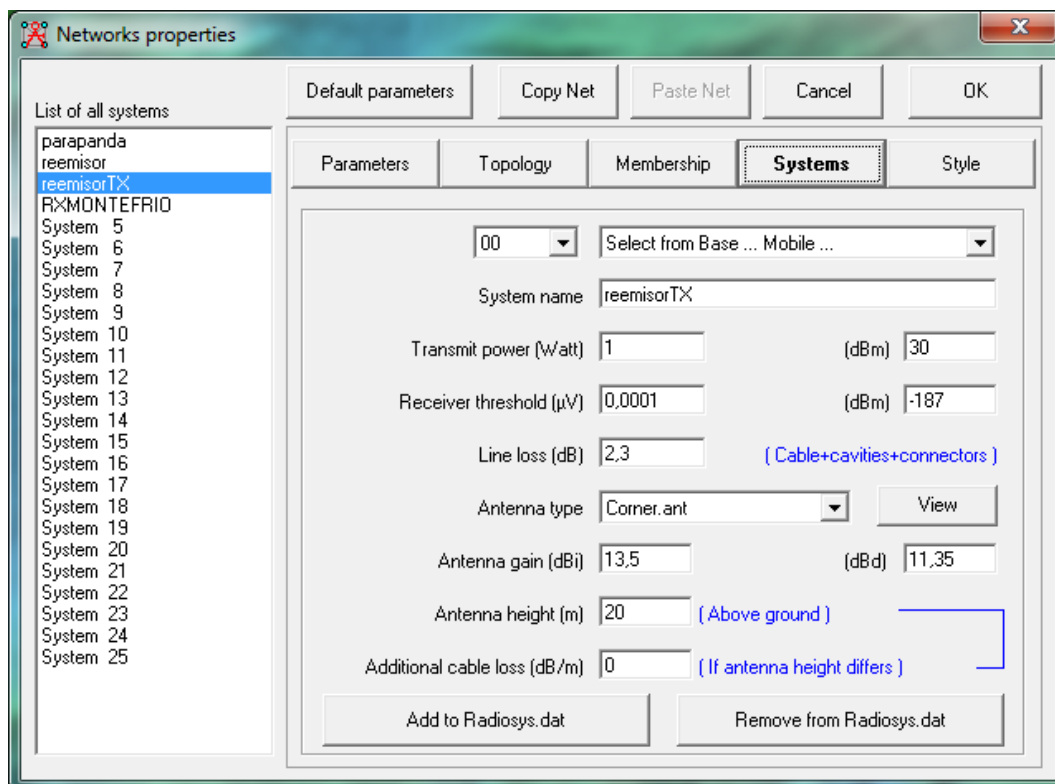


Figura 58: Configuración del reemisorTX

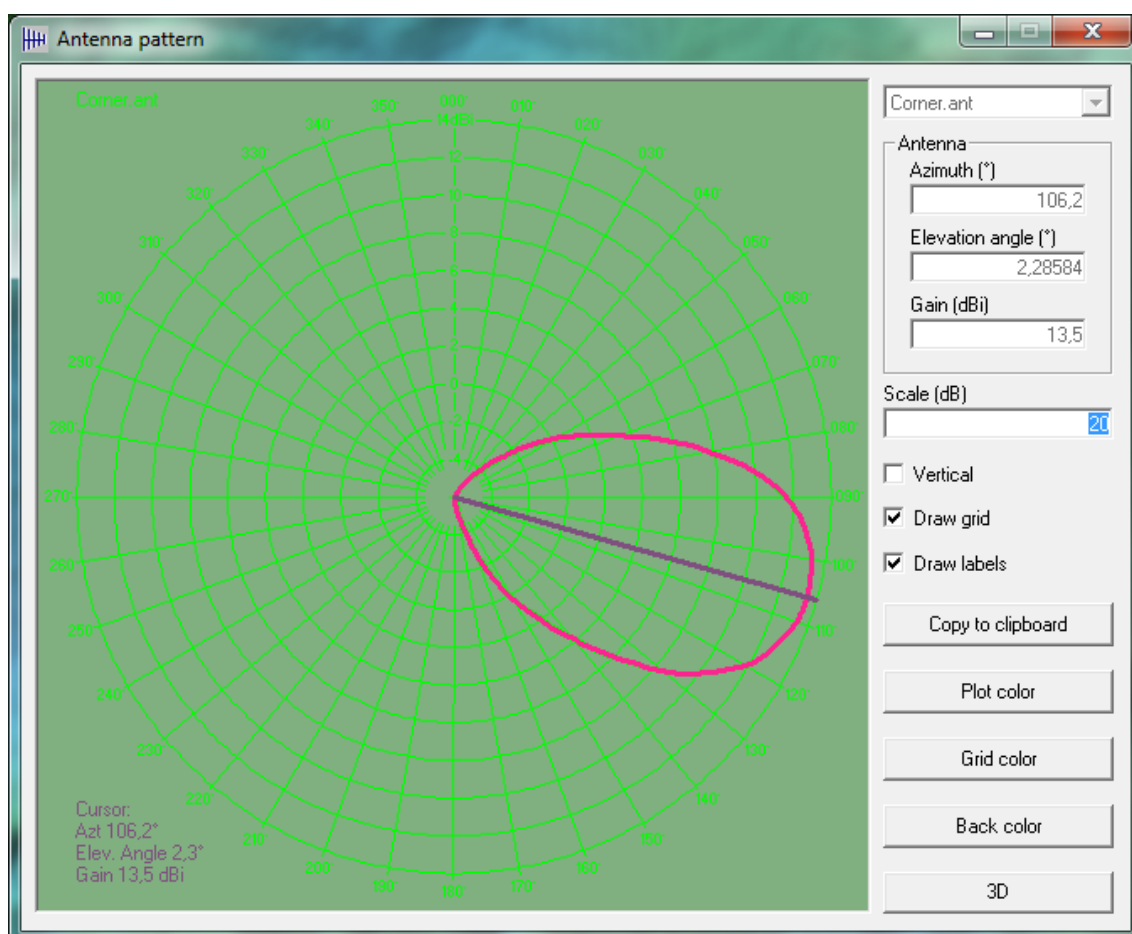


Figura 59: Patrón de la antena del reemisor

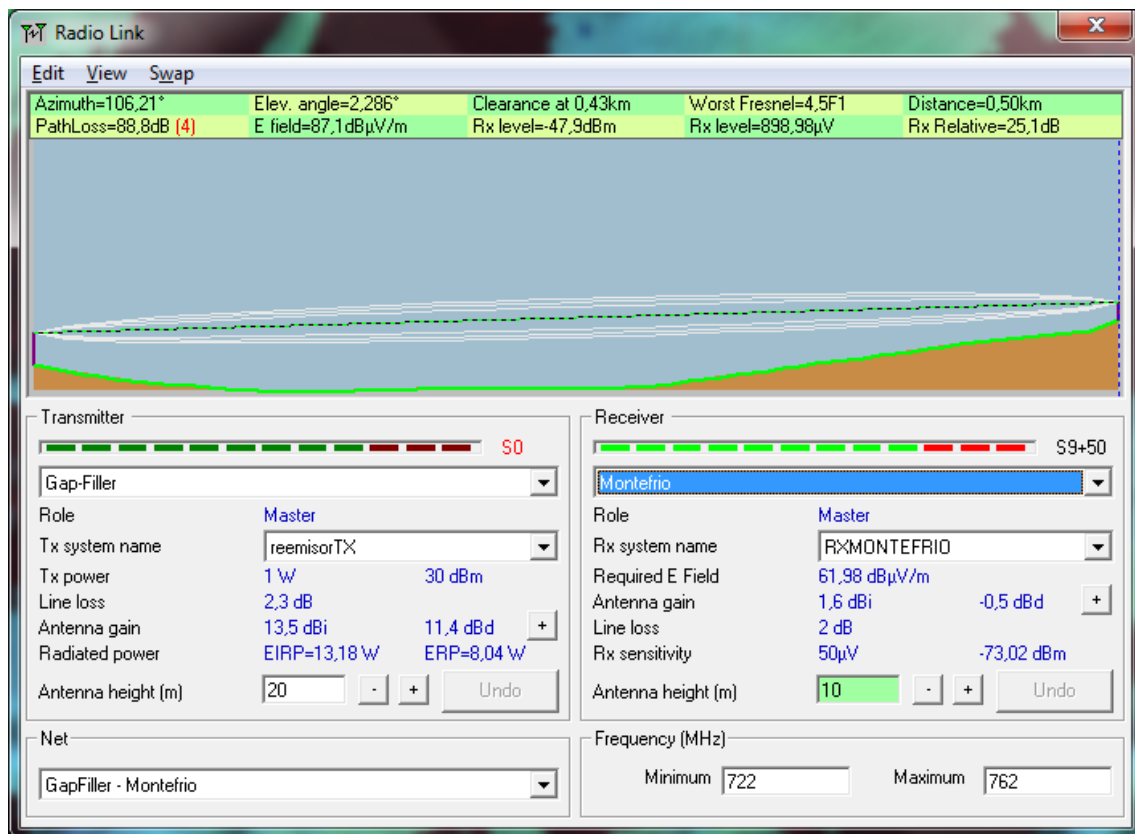


Figura 60: Radio link para la red GapFiller – Montefrío

Dado que ya se tienen todos los parámetros, redes y emplazamientos configurados para proceder a la radiación de las coberturas.

Primero se va a simular la cobertura que radia Parapanda. Para ello seguimos las siguientes indicaciones:

Tools: Radio coverage: single polar, o simplemente pulsando **F3**.

Single polar Radio coverage

Centre unit: C.Emisor parapanda

Mobile unit: Gap-Filler

Network: Parapanda - GapFiller

Draw

Cancel

Link Direction

- ☒ Centre Tx - Mobile Rx
- ☐ Centre Rx - Mobile Tx
- ☐ Worst case

Radial range (km)

Minimum: 0,01

Maximum: 50

Plot

- ☐ Contour line
- ☒ Fill area
- ☐ Solid
- ☐ Network style
- ☐ Rainbow
- ☐ Blur
- ☒ Complete.wav

Color

Azimuth range (°)

Minimum: 0

Maximum: 360

Step: 1

Antenna pattern

☒ Use network antenna settings

omni.ant

View pattern

Threshold

- ☐ S-Unit
- ☒ dBm
- ☐ μ V
- ☐ dB μ V/m

Auto set

From: -73,0

To: -73,0

Draw background

Small

Draw

Figura 61: Configuración de simulación de la cobertura de Parapanda

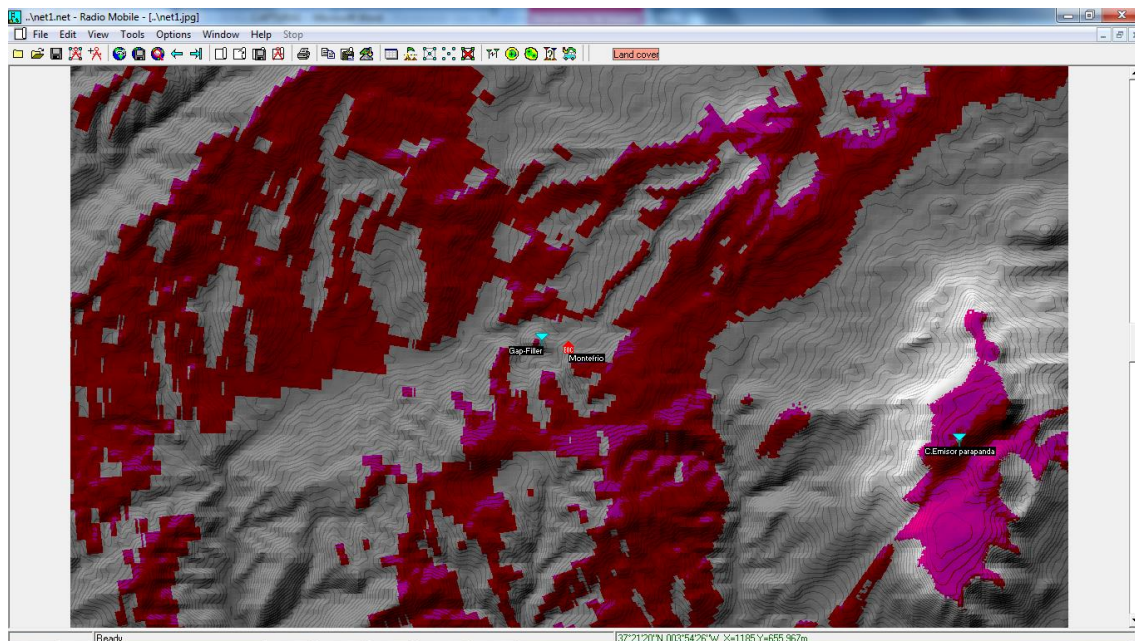


Figura 62: Cobertura de parapanda en rosa sobre mapa en gris

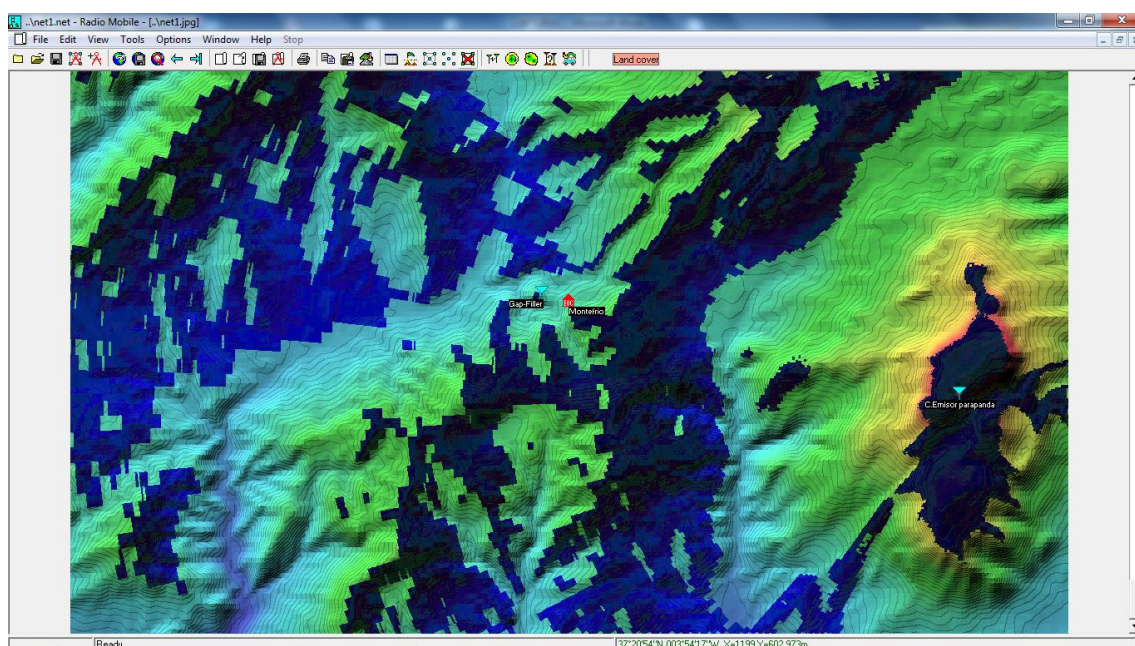


Figura 63: Cobertura de parapanda sobre mapa de color (cobertura en azul oscuro)

Se puede apreciar que Montefrío se queda sin cobertura TDT, pero que al reemisor (GapFiller) sí que llega la emisión de Parapanda. A parte de Montefrío, en la zona no hay más núcleos de población.

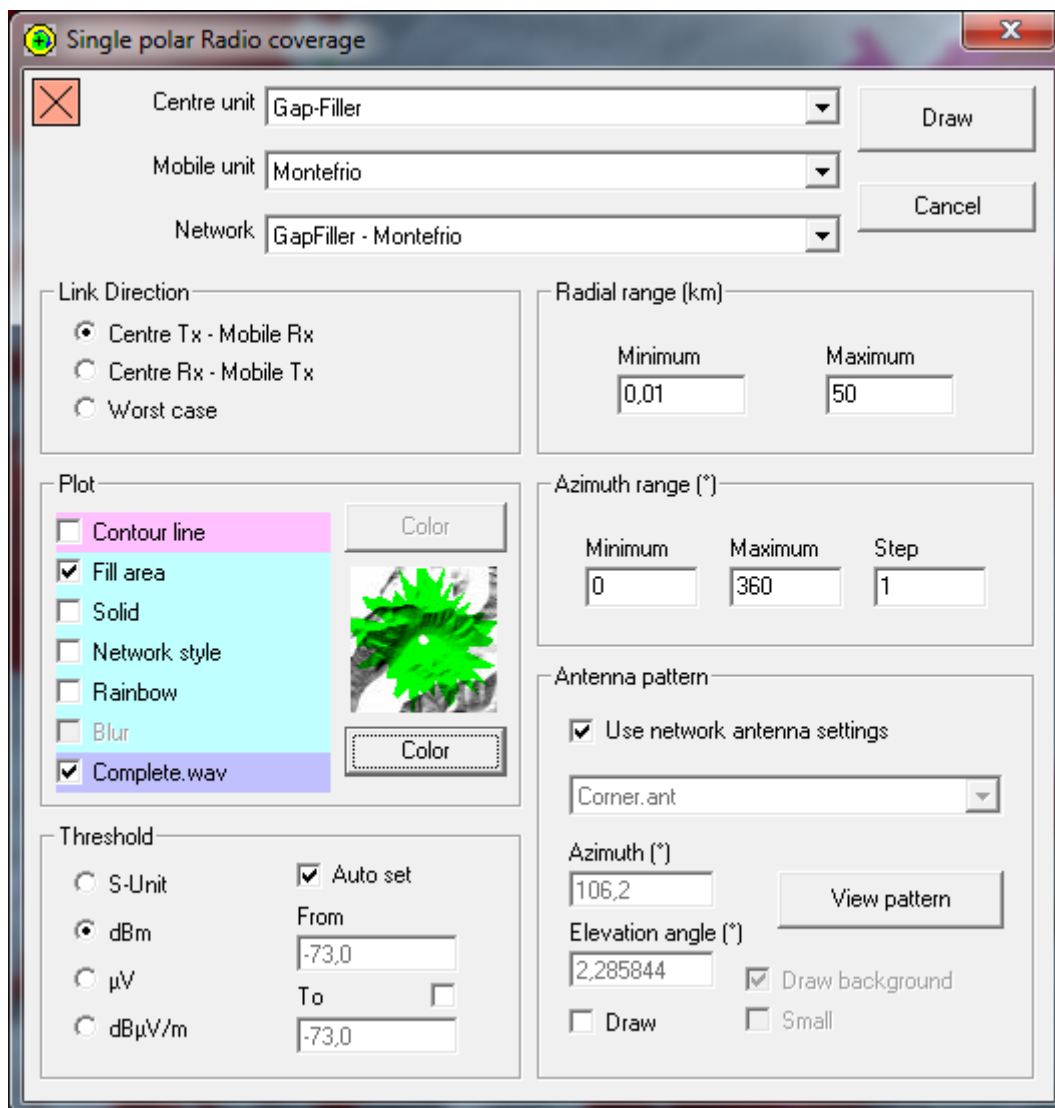


Figura 64: Configuración para la simulación de la cobertura del GapFiller hacia Montefrío

Se configura la simulación de cobertura del GapFiller hacia Montefrío, figura 64, de la red GapFiller-Montefrío.

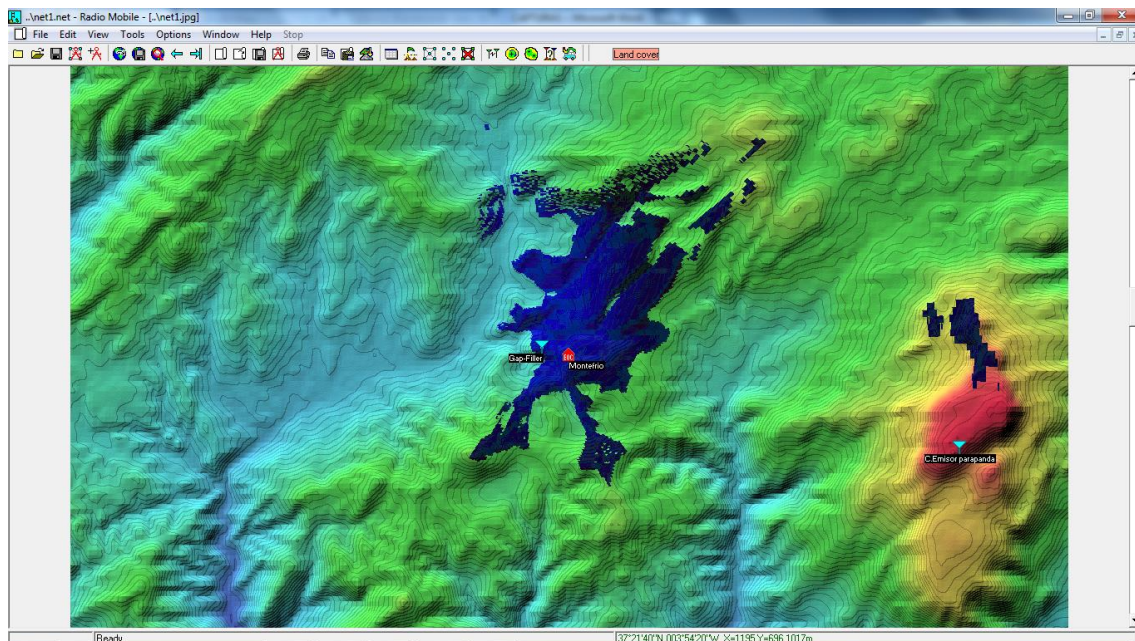


Figura 65: Simulación de cobertura del GapFiller de Montefrío en azul

Ahora seguidamente, se vuelve a simular las coberturas juntas.

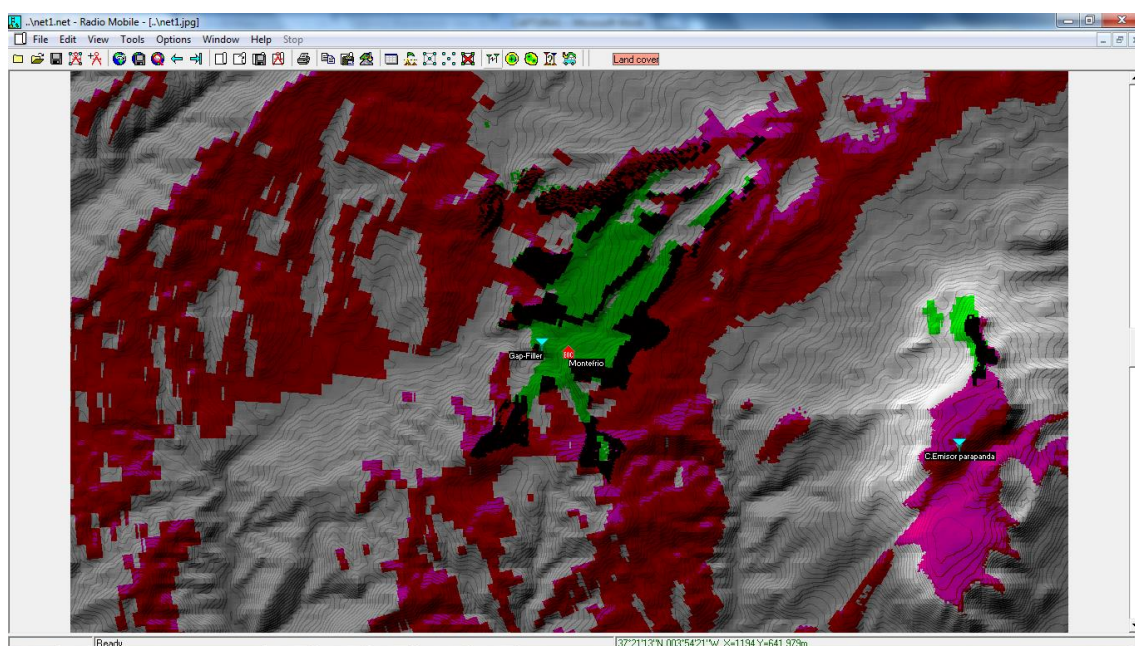


Figura 66: Coberturas de Parapanda y del GapFiller sobre mapa gris.

En la figura 66, la cobertura verde es la radiada por el reemisor de Montefrío, y la rosa de Parapanda, quedando las zonas en negrita como las cubiertas por ambas radiaciones.

En la figura 67, se observa la misma radiación anterior con el mapa de la zona en color, donde se aprecia la cobertura del reemisor en azul oscuro, la de Parapanda en rojo y en negrita las zonas donde ambas coberturas llegan.

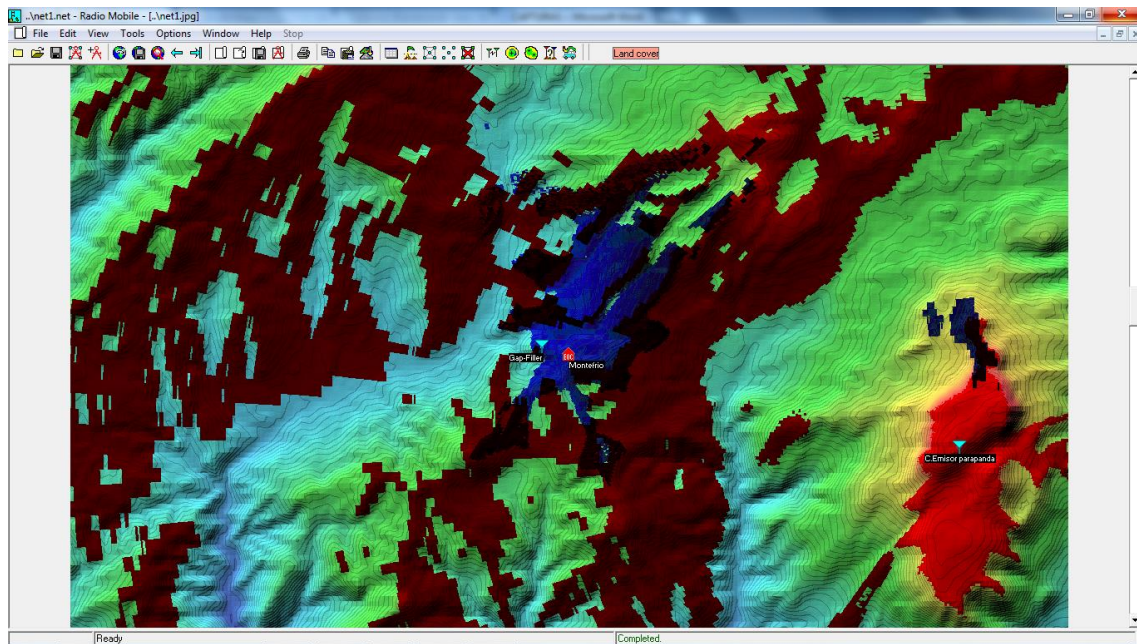


Figura 67: Coberturas sobre mapa de color.

4.6 Equipos a instalar

Según la figura 29, se tienen que instalar los equipos que se detallan en los siguientes apartados.

4.6.1 Sistemas receptores

Marca	MOYANO	<i>Modelo</i>	Yagi UHF	MY-YINX-
Impedancia en Ω	50	Potencia Máx. en W	100	
Apertura horizontal del haz en $^{\circ}$	34	Apertura vertical en $^{\circ}$	37	
Ganancia en dB	14	Polarización	H	

Tabla 8: Características de las antenas receptoras.

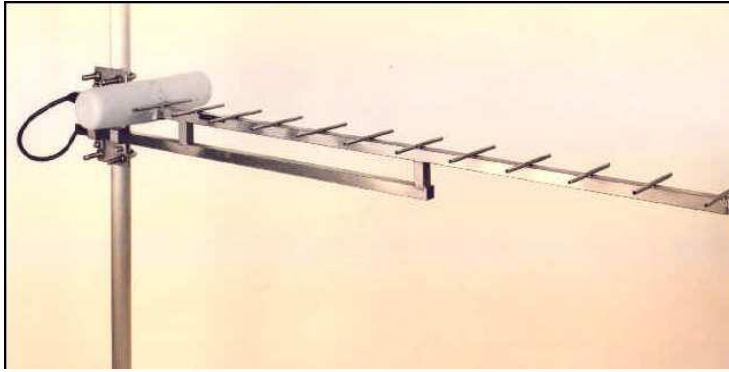


Figura 68: Yagi receptora, con dipolo radomizado.

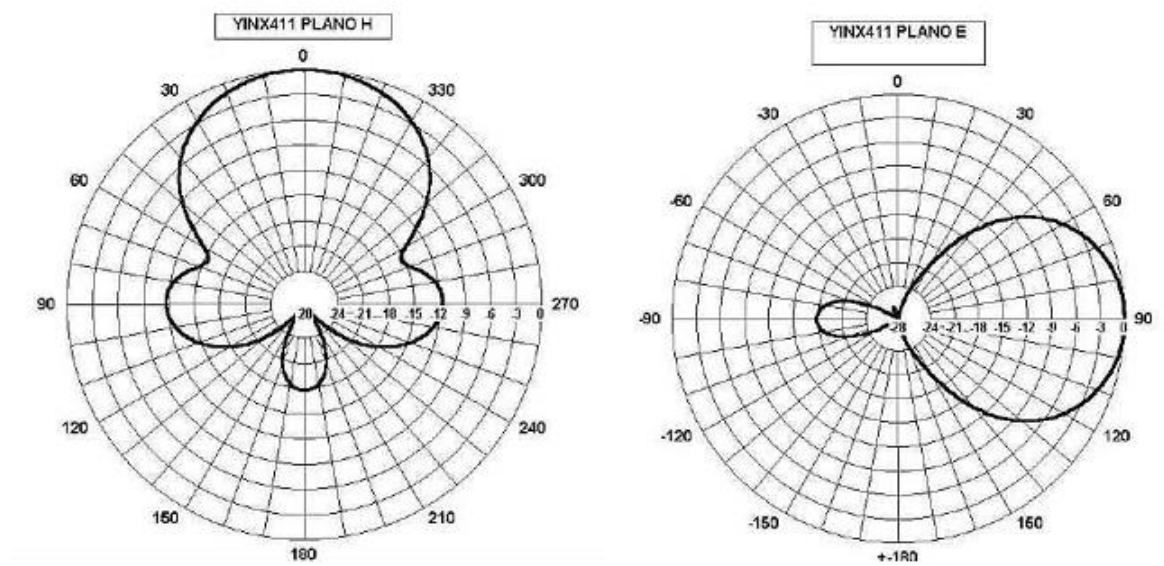


Figura 69: Diagramas de radiación horizontal y vertical de antena yagi

Antena yagi para frecuencia de UHF (470-862 MHz) y con los diagramas de radiación de la figura 36.

4.6.2 Reemisores

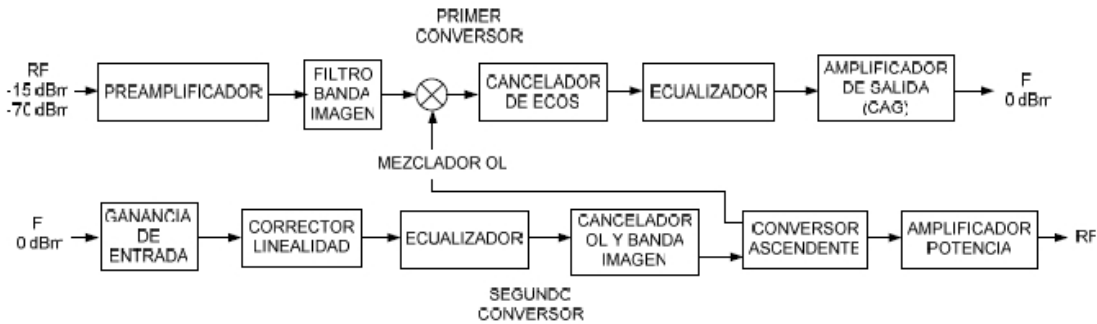


Figura 70: Diagrama de bloques del reemisor

El preamplificador proporciona el nivel de potencia de entrada necesario para excitar el mezclador OL (Oscilador Local).

El filtro de banda imagen es un filtro electrónico que atenúa la banda imagen, el cual permite mejorar la figura de ruido del módulo.

La señal del mezclador de OL proviene del segundo conversor. La frecuencia intermedia con la que se trabaja es de 36,15 MHz.

El cancelador de ecos es un filtro adaptativo digital, cuya misión principal es compensar el déficit de aislamiento entre antenas. Puede actuar sobre la ganancia del conversor en algunas circunstancias.

Por último, el amplificador de salida con el CAG mantiene la potencia de salida del conversor constante.

El segundo conversor tiene un bloque de ganancia de entrada que permitirá trabajar con potencias menores al nivel nominal de 0 dBm.

El objetivo del bloque corrector de linealidad es obtener la señal de RF libre de distorsiones no lineales después de la etapa de potencia.

El cancelador de OL y banda imagen amplifica y divide la señal desfasada 90° entre sí, posteriormente se suprime el residuo de OL y de banda imagen.

El conversor ascendente pasa la señal a OL + FI. Finalmente, mediante diferentes etapas, el amplificador de potencia deja la señal a la frecuencia y potencia requerida. [17]

Gap-filler 1		Gap-filler 2	
Marca	Egatel	Marca	Egatel
Modelo	MRD 4010	Modelo	MRD 4010
Pot. nominal máxima transmisor. Unidad	1	Pot. nominal máxima transmisor. Unidad	1
Pot. Nominal transmisor. Valor	W	Pot. Nominal transmisor. Valor	W

Pot. de salida autorizada del equipo. Unidad	1	Pot. de salida autorizada del equipo. Unidad	1
Pot. de salida autorizada del equipo. Valor	W	Pot. de salida autorizada del equipo. Valor	W
Pérdidas en líneas de Transmisión (cable + cavidades + conectores) (dB)	2,3	Pérdidas en líneas de alimentación (dB)	2,3
Potencia radiada. Tipo	Directiva	Potencia radiada. Tipo	Directiva
Potencia radiada. Unidad	W	Potencia radiada. Unidad	W
Potencia radiada aparente máxima. Valor	6,30	Potencia radiada aparente máxima. Valor	6,30
Frecuencias recepción en repetidor. Valor	762	Frecuencias recepción en repetidor. Valor	722
Frecuencias recepción en repetidor. Unidad	MHz	Frecuencias recepción en repetidor. Unidad	MHz
Canal recepción	57	Canal recepción	52
Programa	RGE	Programa	RGE 2
Cancelador de ecos	Si	Cancelador de ecos	Si

Tabla 9: Características de los Gap-fillers de los canales 57 y 52.

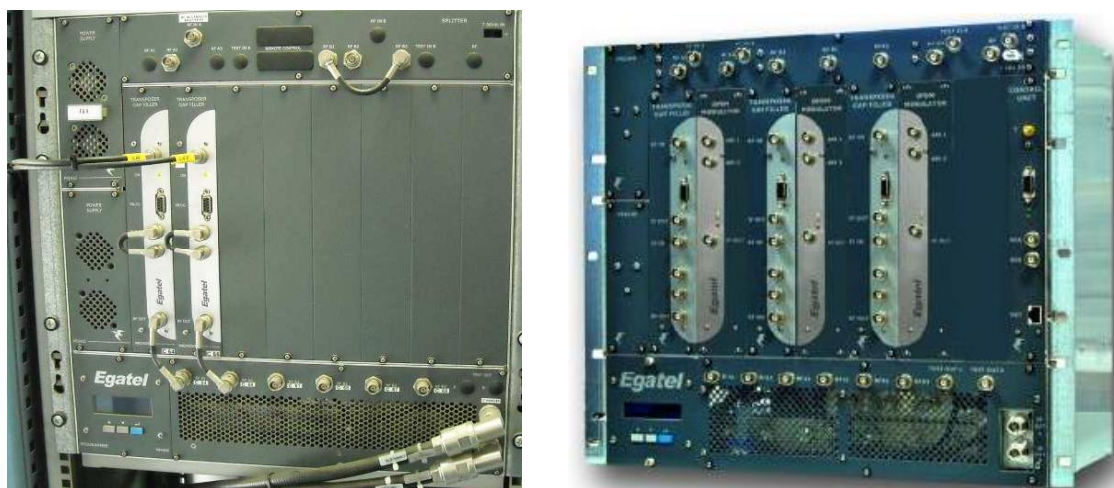


Figura 71: Configuraciones del transmisor MRD 4010 de Egatel.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO EGATEL MRD 4010 [24]

Dos módulos independientes: modulador digital y micro reemisor.

Modulación OFDM según norma DVB-T EN 300 744 y EN 302 304.

Frecuencia de referencia de alta estabilidad. Sincronización por GPS.
Selección y configuración de señales de referencia y entrada.
Configuración de parámetros según MIP seleccionable en redes SFN.
Retardo local variable para ajuste en redes SFN.
Sintonía continua en salida entre 470 y 862 MHz. Sin ajustes.
Potencias de 0,25/1/2 W (MTD4010) y 5 W (MTD4050).
Osciladores sintetizados con bajo ruido de fase.
Facilidad de manejo mediante teclado/display.
Pre-corrector lineal con corrección de la respuesta amplitud-frecuencia.
Pre-corrector digital no lineal con ajuste AM/AM y AM/PM independiente.
Posibilidad de recepción terrestre con conmutación automática.
Amplificador de potencia balanceado mediante dispositivos LDMOS.
Alimentación a una única tensión de 24V.
Conmutación automática opcional Transmisor / Reemisor.

La gama de micro transmisores MTD 4000 de Egatel está equipada con un modulador COFDM para DVB-T / H que cumple con las normas EN 300 744 y EN 302 304 pudiendo operar en redes MFN y SFN. Está dotado de precorrección lineal y no lineal proporcionando potencias de salida entre 0,25W y 5W. Según modelos. Cada canal está constituido por dos módulos (modulador y reemisor) pudiendo integrar hasta tres canales en un cofre de 19" y 10U de altura. El sistema es totalmente programable a través de un teclado/display y una unidad de control integrada proporciona medida de BER de los canales emitidos así como telesupervisión mediante contactos ó SNMP / módem GSM.

MICROREEMISOR

Procesado FI

Frecuencia central: 36,15 MHz.
Ancho de banda: 8 MHz. otros opc.
Ecuilización de amplitud: ± 3 dB (continuo).

Salida RF

Tipo de señal: Un canal DVB-T.
Margen de frecuencias: 470...862 MHz.
Potencia: 0,25/1/2Wrms.+1dB (MRD4010) 5Wrms. +1dB (MRD4050).
Estabilidad de potencia: $< \pm 0.5$ dB.
Intermodulación: > 36 dB.
Conector: BNC (h) 50 Ohm .
Pérdidas de retorno: >18 dB.
Armónicos y espúreos: $< - 60$ dBm (hasta 1GHz.).

Referencia

Interna

Frecuencia: 10 MHz.

Estabilidad: ± 1 ppm.

Externa

Frecuencia: 10 MHz.

Nivel: 100 mVpp...3Vpp.

Conector: BNC-hembra.

Impedancia: 50 Ohm

GENERAL

Temperatura: -5°...45°C

Humedad relativa: 95% máx.

Alimentación: 24 VDC.

Consumo por canal: 31W.(MTD 4010) 53 W. (MTD 4050)

Ventilación: Convección.

Dimensiones y peso:

- Modulador: 45.4 x 261.6 x 230mm (1.3Kg)

- Micro-Reemisor: 45.4 x 261.6 x 252mm (1.5Kg)

FI

Frecuencia: 0...50 MHz.(pasos 1 Hz).

Nivel de salida: -30...-18 dBm. Ajustable.

Estabilidad nivel de salida ± 0.5 dB

Pérdidas de retorno: > 18 dB

Espectro: Normal / Invertido

Amplitud I/Q no balanceada: <0.05 %

Error de cuadratura I / Q : <0.05 °

MER (medida digital): > 45 dB

Shoulders: > 52 dB

Espúreos: > 60 dB

Reloj y sincronización

Reloj interno: 10 MHz.

Estabilidad (tip.): 1 ppm

Referencia externa: 10 MHz. BNC(h).

Impedancia: 50 Ohm.

Nivel: -5 a +10 dBm

Ref. 1pps externo: BNC-H

- Nivel: Nivel TTL.
 - Ancho mínimo del pulso: 1 μ S
- Resolución sincr. SFN: \pm 200ns

UNIDAD DE CONTROL

Entradas RF (2X)

Nivel: -30 - 0 dBm.

-1 -6 Medida BER post Viterbi: 1 .. 1

Telesupervisión: Contactos (SNMP/GSM Opc.)

PARAMETROS GESTIONADOS POR TECLADO / DISPLAY

Configuración parámetros modulación DVB-T/H

Selección y configuración de entradas.

Selección de sincronización MFN / SFN.

Adaptación tasa, autoconfiguración por MIP.

Habilitación / deshabilitación precorrección digital.

Configuración salida IF (nivel, frecuencia, espectro).

Selección de frecuencia de salida.

Potencia directa.

Precorrección lineal. Corrección amplitud / frecuencia.

Precorrección no lineal.

Retardo SFN.

Fallos y alarmas.

ALIMENTACIÓN

Fuentes: 2 máx.

Voltaje de entrada / salida: 90-264 VAC / 24 VDC

Potencia máx. por fuente: 240W. / 500W.

GENERAL

Dimensiones: 19"-10U.

Peso: 25.3Kg Max.

Configuración: Pared, caja intemperie o rack.

Proceso de Mejora de MER a través del programador PR4000 y los menús en los que se actúa.

En previsión de una futura ampliación de canales, se instalan dos triplexores. Uno para los múltiples 57, 67 y 69. El otro para 52, 56 y 68.

Marca	Egatel	Modelo	TR-20
Impedancia (Ω)	50	Tipo de conectores	BNC
Número de salidas	1	Número entradas	3

Tabla 10: Características de los triplexores



Figura 74: Triplexores

Las pérdidas de inserción y de retorno de los canales a instalar son:

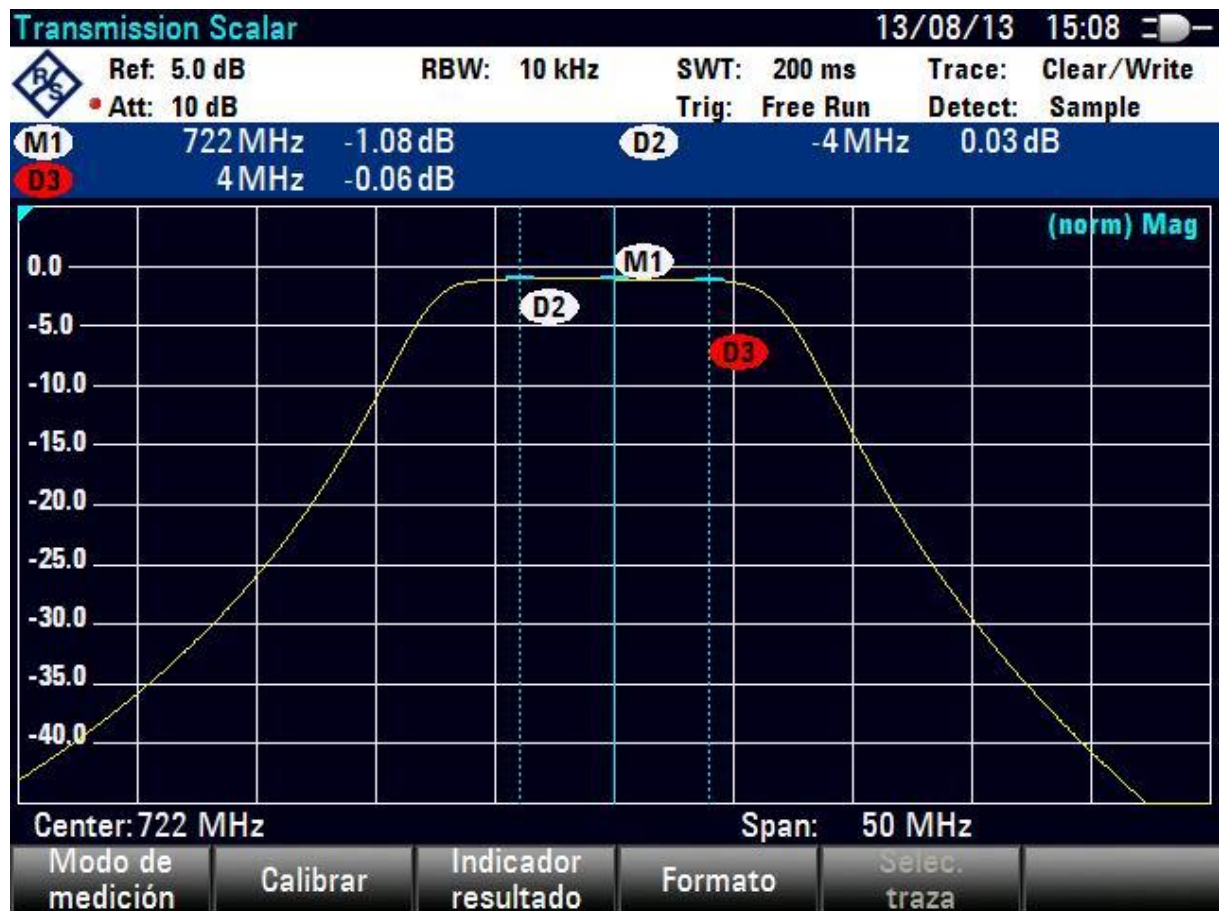


Figura 75: Banda de paso del filtro en Ch52 con medida de pérdidas de inserción.



Figura 76: Banda de paso del filtro en Ch57 con medida de pérdidas de inserción.



Figura 77: Medida de adaptación del filtro a Ch 52 y pérdidas de retorno.



Figura 78: Medida de adaptación del filtro a Ch 57 y pérdidas de retorno.

Es decir, inyectando un tren de deltas de potencia conocida, se miden las pérdidas de retorno y las de inserción.

Para el canal 52 las pérdidas de retorno a la frecuencia media de 722 MHz son de 27,44 dB.

Las pérdidas de inserción son 1,08 dB.

Para el canal 57 las pérdidas de retorno a la frecuencia media de 762 MHz son de 31,78 dB.

Las pérdidas de inserción son 0,93 dB

	Perdidas de inserción	Perdidas de retorno
Ch 52	1,08	27,44
Ch 57	0,93	31,78

Tabla 11: Resumen

4.6.4 Sistemas radiantes

El sistema radiante está formado por dos paneles de 4 dipolos orientados en dirección 135° , tomando como origen el Norte geográfico. El ángulo de inclinación de los paneles será -12° . La polarización utilizada será horizontal. [26]

El diagrama de radiación del sistema radiante presenta una ganancia máxima de 11,35 dBd y una apertura en el plano horizontal a -3 dB de 61° , en la dirección de orientación del panel, por lo que el sector de radiación a -3 dB será 105° - 166° .

En el plano vertical presenta una apertura a -3 dB de 26° en cada sector de radiación. A cada uno de los dos paneles emisores se conecta un cable Celflex $\frac{1}{2}$ " de 20 metros de longitud, que trae la señal desde el gap-filler.

Dado que los conectores de entrada de los paneles son de tipo 7/16 h, es necesario terminar el cable con un conector 7/16 m.

El otro extremo del cable se conectará mediante conector N h a un latiguillo constituido por conector N m, cable RG 213, y conector BNC m que permite conectar con el equipo Egatel MRD 4010 cuya salida dispone de conector BNC h.

Cada uno de ellos dará salida a los canales multiplexados en los triplexores. Por tanto, actualmente un panel transmitirá el canal 57 y el otro el 52.

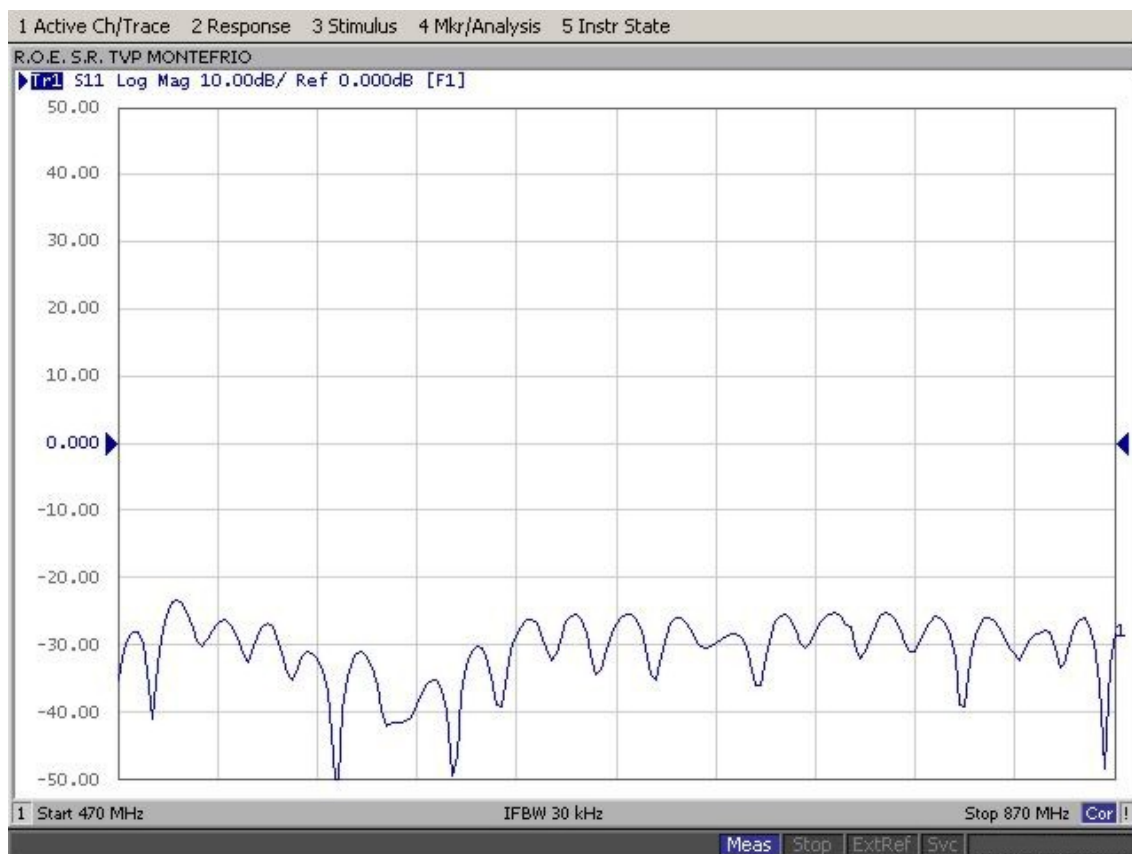


Figura 79: Medida de adaptación del sistema radiante

Sin necesidad de marcadores se ve claramente que en toda la banda de 470 MHz a 870Mhz, la adaptación es mejor que 25db.

Marca	Ryma	Modelo	AT 15-250
Impedancia Ω	50	Potencia máxima W	1000
Tipo	directivo	Ganancia máxima dBd	11,35
Apertura horizontal	61°	Apertura vertical	26°
Nº de paneles	2	Orientación paneles	135°
Polarización	H	Angulo de elevación paneles	-12°
Sectores de radiación a -3dB	105 a 166	Altura física de la torre mts	21
Altura centro eléctrico (metros)	18		

Tabla 12: Características de los paneles del sistema radiante.



Figura 80: Apilamiento de paneles radiantes.

En la figura 80 vemos el modo en que se apilan los paneles radiantes, aunque en este caso, sólo se han utilizado dos.

Los paneles radiantes son menos directivos que las yagis (figuras 69 y 81), por lo que son ideales para cubrir amplias zonas. Comparando ambas figuras podremos ver los diagramas de radiación.

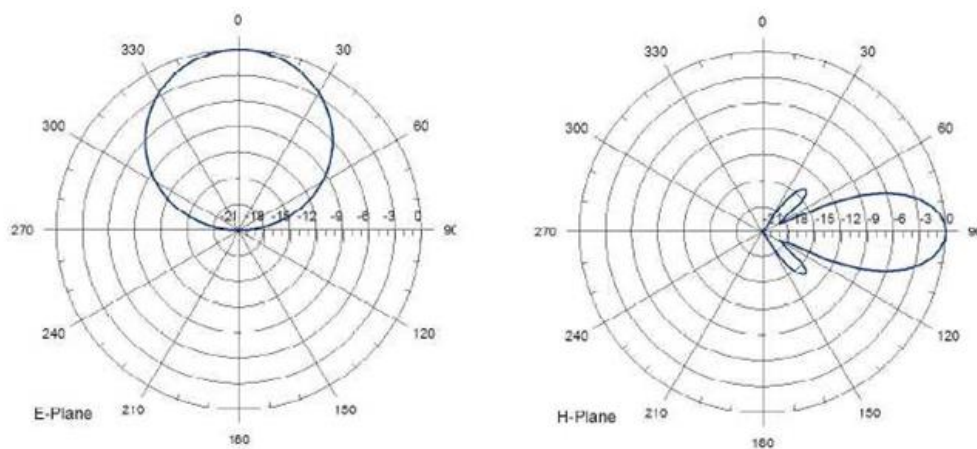


Figura 81: Diagramas de radiación horizontal y vertical

Electrical Specifications				
Frequency range	470-862 MHz			
Peak gain	11.35 dB (ref. $\lambda/2$ dipole)			
3 dB beam width	E-plane: 61°		H-plane: 26°	
Polarization	Horizontal			
Impedance	50 Ohm			
VSWR	≤ 1.1:1 typical (1.15:1 max)			
Maximum power handling peak sync	1.4 KW	3.5 KW	4.2 KW	6.5 KW
Maximum power handling RMS	1 KW	2.5 KW	3 KW	4.5 KW
Connector type	DIN 7/16	EIA 7/8"	DIN 13/30	EIA 1 5/8"
Pressurization	Non pressurized	Gas barrier on input connector		

Figura 82: Especificaciones técnicas del fabricante de los paneles radiantes utilizados.

El fabricante, puede suministrar el mismo panel con varios tipos de conectores en función de la potencia de trabajo, desde 1KW que aguanta el conector DIN 7/16 y los 4,5 KW que aguanta un conector EIA 1, 5/8. [28]

A partir de 1 KW el receptáculo del conector está provisto de una toma de presurización.

Línea de Transmisión	Cable $\frac{1}{2}$ " Cellflex	Longitud línea transmisión	20
ATT a 100 m (dB)	6,39 a 700Mhz	Atenuación total del cable	1,278
Multiplexor	Egatel TR20	Atenuación paso triplexor ch 52	1,08
		Atenuación paso triplexor ch 57	0,93
Impedancia Ohm	50		
Atenuación total del sistema radiante (dB)	2,3		

Tabla 13: Atenuación del sistema radiante.

Elemento	Und	L(dB/100m)	L (dB)	Ch 52	Ch 57
Cable Cellflex 1/2"	20	6,39	1,278	1,278	1,278
Triplexor	1			1,08	0,93
Pérdidas totales				2,358	2,208

Tabla 14: Cálculo de pérdidas.

46.5 Cables y conectores.

Los conectores utilizados son estandarizados para transmisión UHF de la marca Amphenol como en la figura 50. [15] [16]



Figura 83: Conectores BNC, 7/16 y N macho (de izq. a dcha.)

4.7 Puesta en servicio

4.7.1 Protocolo de aceptación

Es un documento donde queda reflejado el funcionamiento de los equipos instalados. En caso de algún resultado no esperado, éste queda reflejado en el protocolo de aceptación.

Los instrumentos de medida utilizados son: [25] [27]

	INSTRUMENTACIÓN USADA EN PROTOCOLO ACEPTACIÓN			
	MARCA	MODELO	Nº SERIE	F. CALIBRACIÓN
VSWR,BRIDGE,	RODHE	FSH Z2	3800102626	1/02/13
ANALIZADOR ESPECTRO	RODHE	ETH	3800101762	1/02/13

ANALIZADOR DE ESPECTRO	IFR	2399A	F54387Z	5/02/13
Medidor de Campo	PROMAX	PROLINK HD	60113380004	25/01/06
BOLÓMETRO	BIRD	FSH Z14	100166	15/12/12

Tabla 15: Relación de instrumentación utilizada para puesta en marcha y protocolo de aceptación

Equipo	Marca	Modelo	Nº Serie
REEMISOR	EGATEL	MRD 4010	701001360
REEMISOR	EGATEL	MRD 4010	701001361
BASTIDOR	EGATEL	10 unid.	
PROGRAMADOR	EGATEL	PR4000	
Equipo	Marca	Modelo	Canales
Triplexor tipo estrella	Egatel	TR20 UHF	69-67-57
Triplexor tipo estrella	Egatel	TR20 UHF	68-52-56
Equipo	Marca	Modelo	Polarización
Antena RX	Moyano	MY- YINX	H
Antena RX	Moyano	MY- YINX	H
Panel TX	Ryma	AT15-250	H
Panel TX	Ryma	AT15-250	H

Tabla 16: Equipos instalados

4.7.1.1 Medidas de señal de entrada

Se realizan medidas de respuesta impulsiva para detectar cualquier emisión, además de la que nos interesa y su posible retardo respecto a esta y que esté dentro del intervalo de guarda, podemos observar que no tenemos ninguna otra señal que nos pueda interferir. [13]

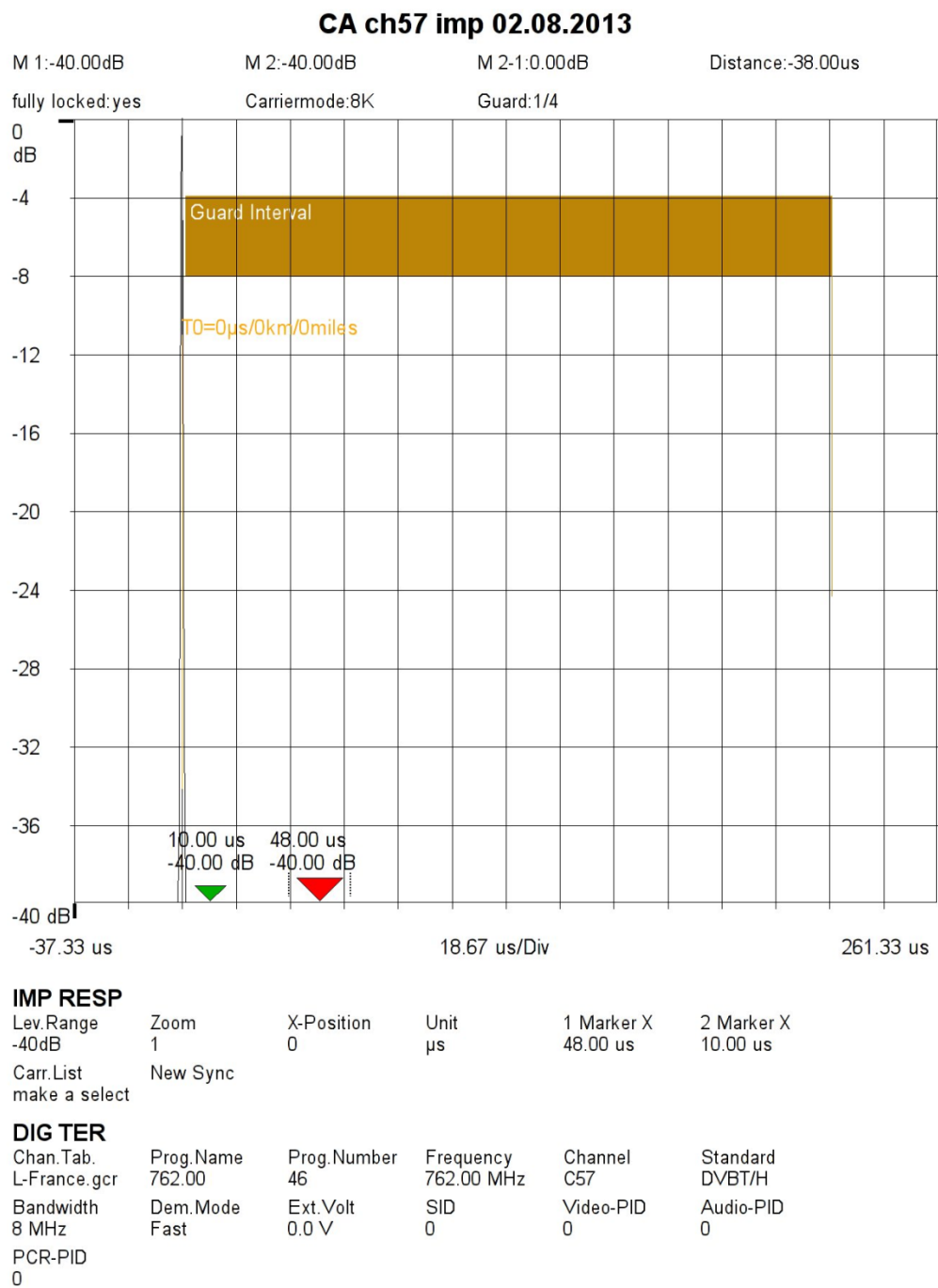
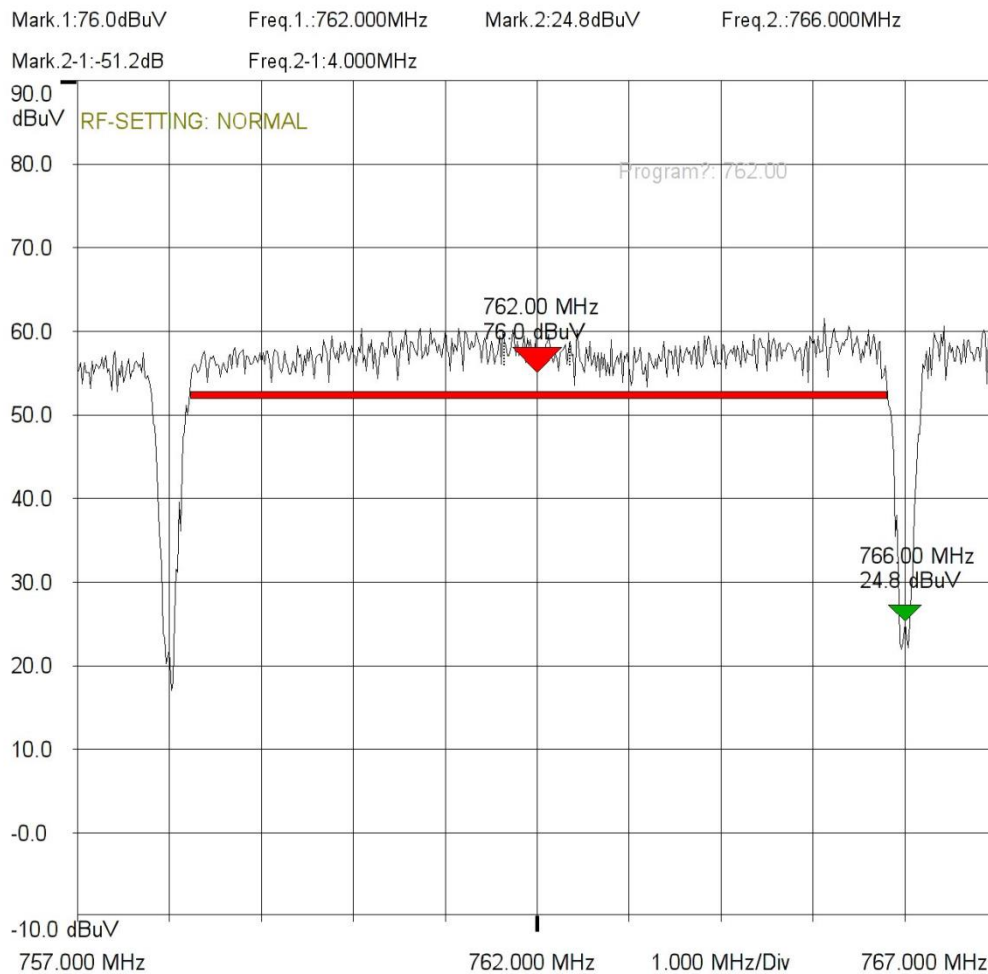


Figura 84: Respuesta impulsiva entrada ch57, sin señales interferentes.

CA ch57 spec 02.08.2013



SPEC

FULL/CHAN.	Ref.-Level	Lev.Range	Center	Span	Start
CHAN	90.0 dBuV	100 dB	762.000 MHz	10.000 MHz	757.000 MHz
Stop	1 Marker X	2 Marker X	1 Mark. BW	Mark.Type	Res.BW
767.000 MHz	762.00 MHz	766.00 MHz	7.6 MHz	Marker1 dig.	100kHz 3dB
Video BW	Detector	Trace	Grid Type		
BYPASS	RMS	Clear Write	Absolute		

DIG TER

Chan.Tab.	Prog.Name	Prog.Number	Frequency	Channel	Standard
L-France.gcr	762.00	46	762.00 MHz	C57	DVBT/H
Bandwidth	Dem.Mode	Ext.Volt	SID	Video-PID	Audio-PID
8 MHz	Fast	0.0 V	0	0	0
PCR-PID					
0					

Figura 85: Espectro de entrada ch 57; como se puede apreciar, hay canales adyacentes.

CD ch 57 const 03.08.2013

Level:74.3dBuV

fully locked:yes

packet locked:yes

MER:33.1dB

BER:4.76e-005

BER post:< 3.35e-008

Offset:0.596kHz

Modulation:QAM64_a=0

Code-Rate:2/3

Carriermode:8K

Cell-ID:0-0

Guard:1/4

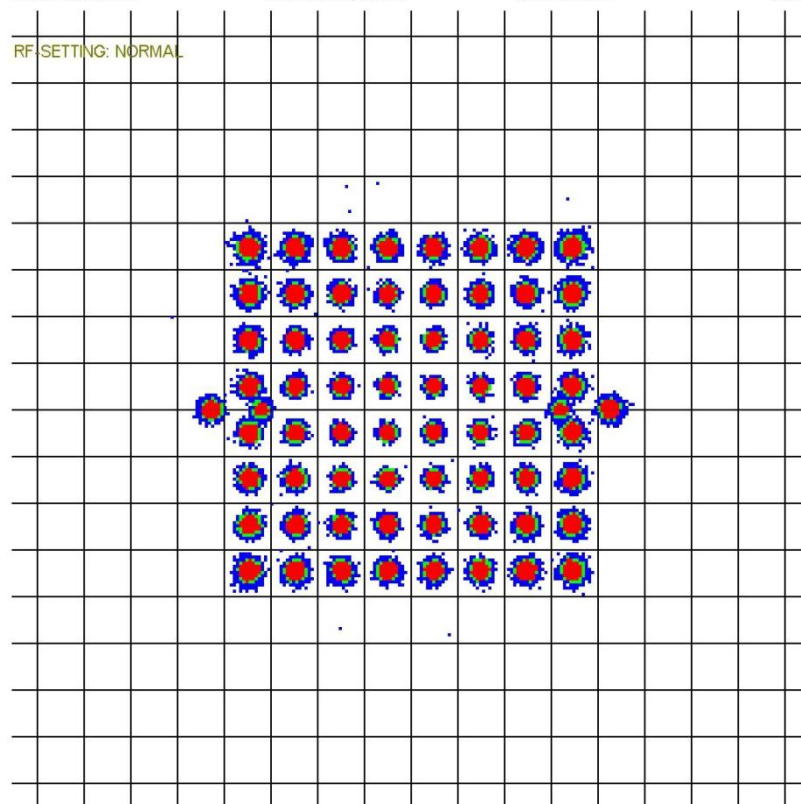


Figura 86: Constelación de entrada ch57

MEASUREMENT SUMMARY**LIST OF MEASUREMENTS**

Measurement Type	Actual Value	Average Value	Minimal Value	Maximal Value
RF-Level	74.1 dBuV	74.2 dBuV	73.8 dBuV 03.08 10:33:13	74.2 dBuV 03.08 10:33:22
S/N	0.0 dB	13.0 dB	0.0 dB 03.08 10:33:11	65.0 dB 03.08 10:33:16
BER pre	4.73e-005	4.36e-005	1.51e-005 03.08 10:33:11	6.24e-005 03.08 10:33:25
BER post	3.74e-008	4.09e-008	3.82e-008 03.08 10:33:38	1.91e-006 03.08 10:33:11
MER	34.51 dB	34.89 dB	32.81 dB 03.08 10:33:11	35.74 dB 03.08 10:33:38
Video Upp	0.31 V	0.31 V	0.31 V 03.08 10:33:21	0.31 V 03.08 10:33:27
Subcarrier 1	not available	not available	not available	not available
Subcarrier 2	not available	not available	not available	not available

Figura 87: Medida de calidad general a la entrada ch57

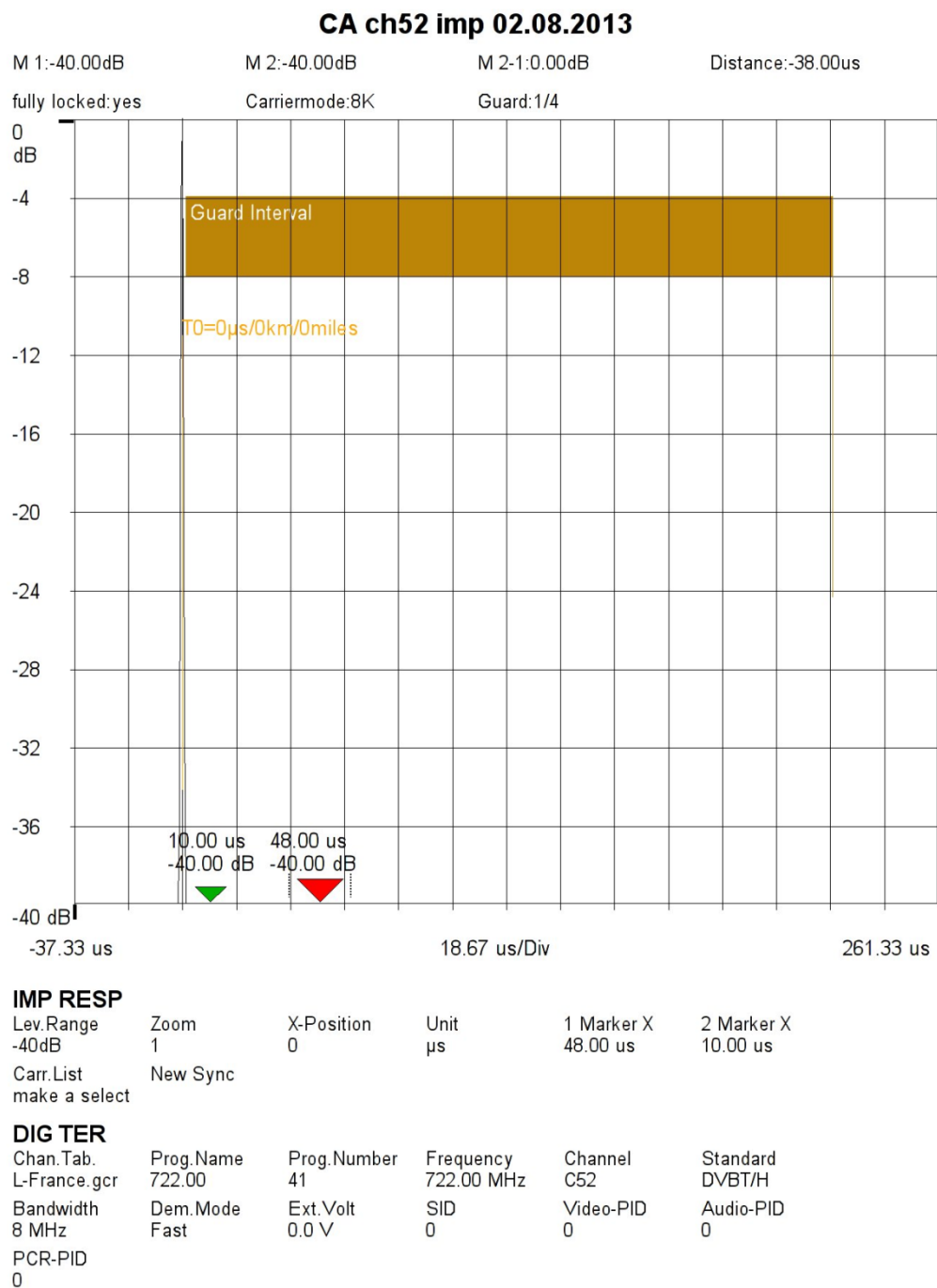
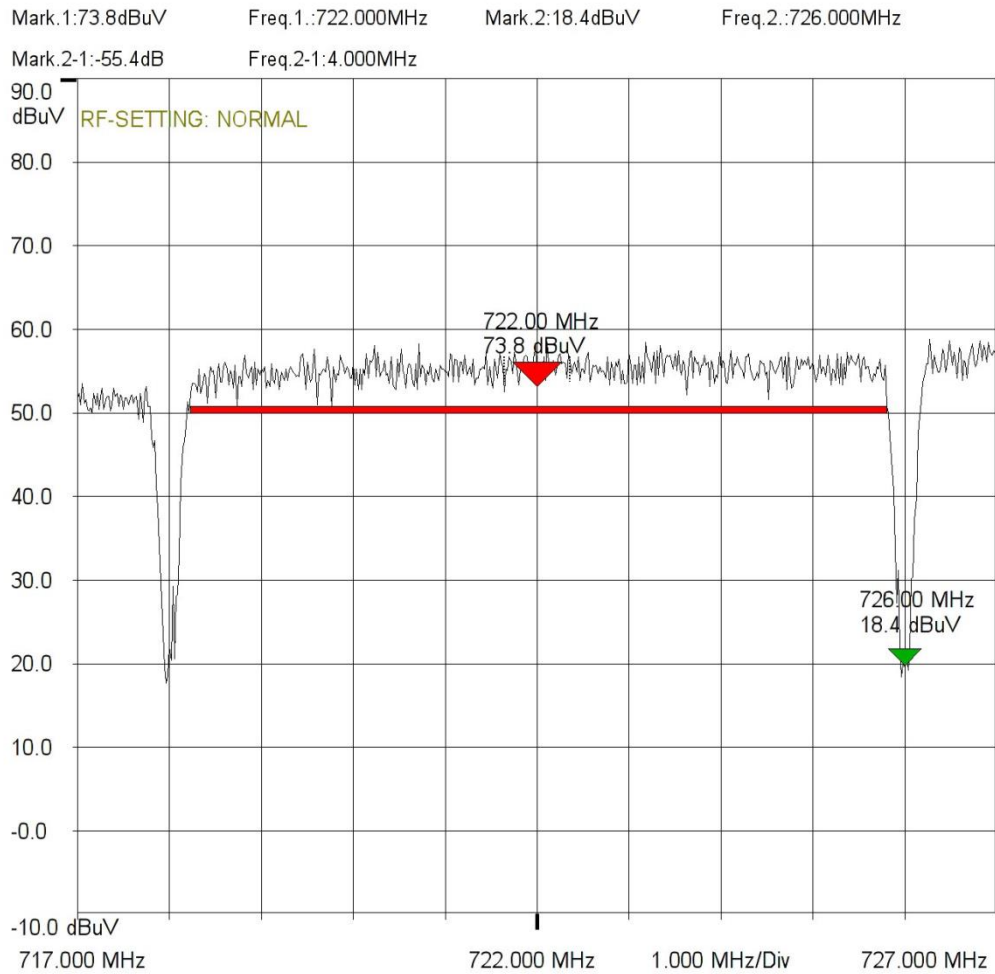


Figura 88: Respuesta impulsiva entrada ch52, sin señales interferentes.

CA ch52 spct 02.08.2013



SPEC

FULL/CHAN.	Ref.-Level	Lev.Range	Center	Span	Start
CHAN	90.0 dBuV	100 dB	722.000 MHz	10.000 MHz	717.000 MHz
Stop	1 Marker X	2 Marker X	1 Mark. BW	Mark.Type	Res.BW
727.000 MHz	722.00 MHz	726.00 MHz	7.6 MHz	Marker1 dig.	100kHz 3dB
Video BW	Detector	Trace	Grid Type		
BYPASS	RMS	Clear Write	Absolute		

DIG TER

Chan.Tab.	Prog.Name	Prog.Number	Frequency	Channel	Standard
L-France.gcr	722.00	41	722.00 MHz	C52	DVBT/H
Bandwidth	Dem.Mode	Ext.Volt	SID	Video-PID	Audio-PID
8 MHz	Fast	0.0 V	0	0	0
PCR-PID					
0					

Figura 89: Espectro de entrada ch52, con canales adyacentes.

Level:72.6dBuV fully locked:yes packet locked:yes MER:33.8dB
BER:3.84e-005 BER post:< 1.72e-008 Offset:0.625kHz Modulation:QAM64_a=0
Code-Rate:2/3 Carriermode:8K Cell-ID:0-0 Guard:1/4

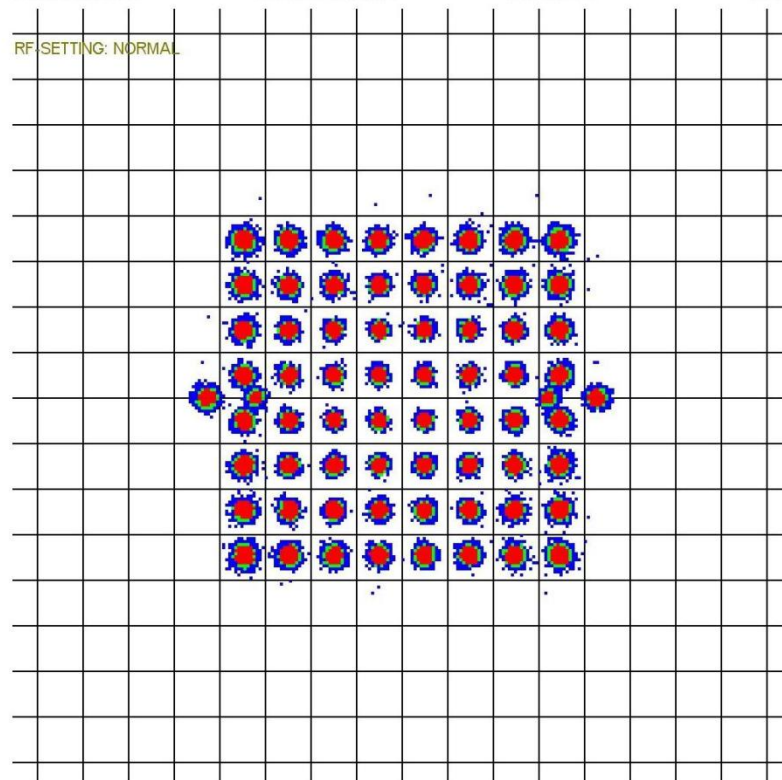


Figura 90: Constelación de entrada de ch52.

MEASUREMENT SUMMARY

LIST OF MEASUREMENTS

Measurement Type	Actual Value	Average Value	Minimal Value	Maximal Value
RF-Level	72.8 dBuV	72.0 dBuV	67.7 dBuV 02.08 14:02:39	73.0 dBuV 02.08 14:02:40
S/N	0.0 dB	7.2 dB	0.0 dB 02.08 14:02:30	65.0 dB 02.08 14:02:38
BER pre	1.37e-004	1.51e-004	3.31e-005 02.08 14:02:30	2.00e-004 02.08 14:02:39
BER post	8.68e-008	1.14e-007	9.09e-008 02.08 14:02:41	1.91e-006 02.08 14:02:30
MER	34.13 dB	33.17 dB	29.84 dB 02.08 14:02:40	35.27 dB 02.08 14:02:37
Video Upp	0.31 V	0.31 V	0.31 V 02.08 14:02:30	0.31 V 02.08 14:02:40
Subcarrier 1	not available	not available	not available	not available
Subcarrier 2	not available	not available	not available	not available

Figura 91: Medidas de calidad general en la entrada ch52

4.7.1.2 Salida de potencia de RF

	POTENCIA DE LOS TRANSMISORES A LA SALIDA DEL MULTIPLEXOR MEDIDA CON BOLOMETRO				
	Pd dBm	Pdir Watos	Potencia Refl dBm	Potencia Ref Watos	Return loss
RGE-57	31,5	1,4125	15,65	0,0367	31,78
RGE2-52	31,5	1,4125	17,73	0,0593	27,44

Tabla 17: Potencias de salida

La potencia máxima de salida del equipo transmisor será tal que no permita obtener una PRA superior en un 50% a la máxima autorizada (según Normas de la SETSI).

PRA máxima autorizada por múltiple: 7,5 W.

PRA máxima por múltiple que no debe poderse superar = 7,5 W = 8,78 dBW

Ptr máx. por múltiple = 8,75 dBW + 2,3 dB - 11.35 dBd =

$$= -0,3 \text{ dBW} = 1,071 \text{ W} = 30,3 \text{ dBm}$$

Para calcular la potencia de salida del equipo (P_s) se tienen en cuenta las siguientes expresiones:

$$E \text{ (dB } \mu \text{ V / m)} = 77 + PRA \text{ (dBW)} - 20 \log d \text{ (km)}$$

$$P_s = PRA + A_t - G; \quad PRA = P_s - A_t + G$$

A_t = Pérdidas cables, latiguillos y conectores

G = Ganancia antena ($\lambda/2$) plano H – Atenuación plano V

Se mide a la salida de los transmisores con un bolómetro, que obtiene la medida de potencia a través de unos sensores de temperatura.

4.7.1.3 Medida de linealidad después del filtro de salida (hombreras).

	Inferior dB	Superior dB	Tolerancia
RGE-57	43,9	44,7	> 36 dB
RGE2-52	39	39	

Tabla 18: Medidas de linealidad

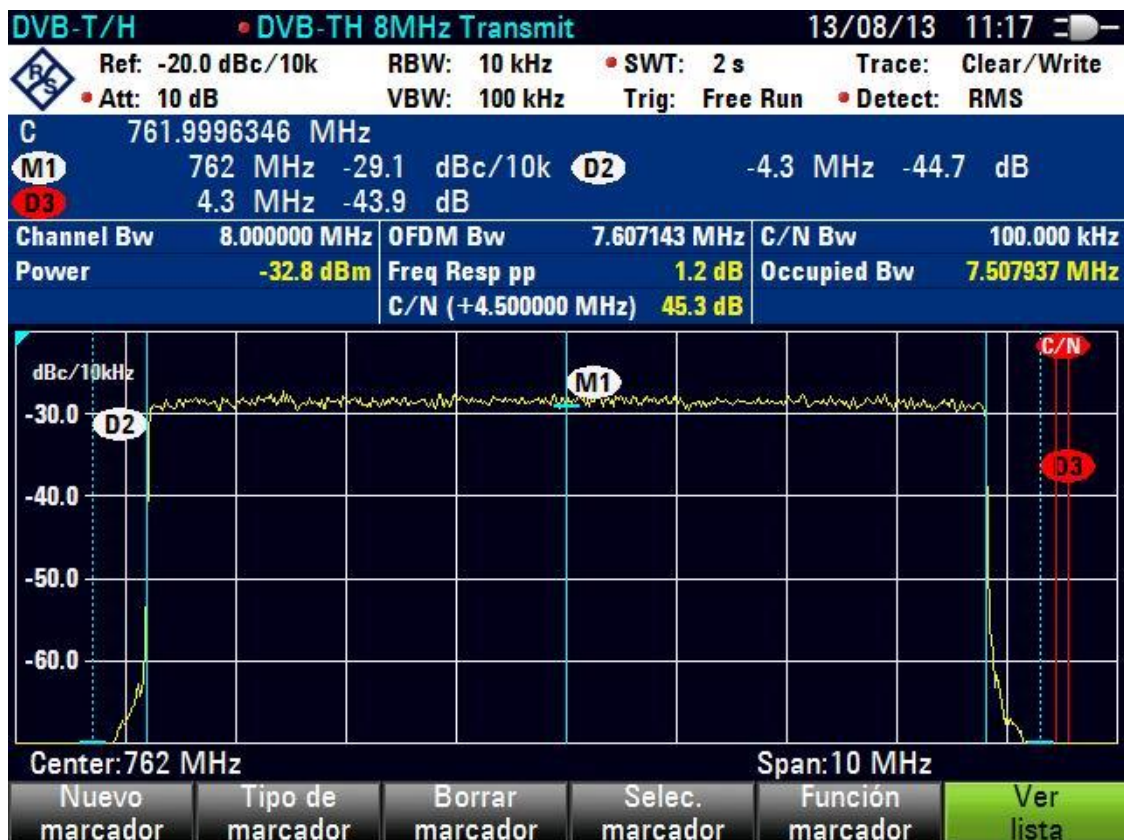


Figura 92: Medida de hombreras con equipo ETH del Ch57

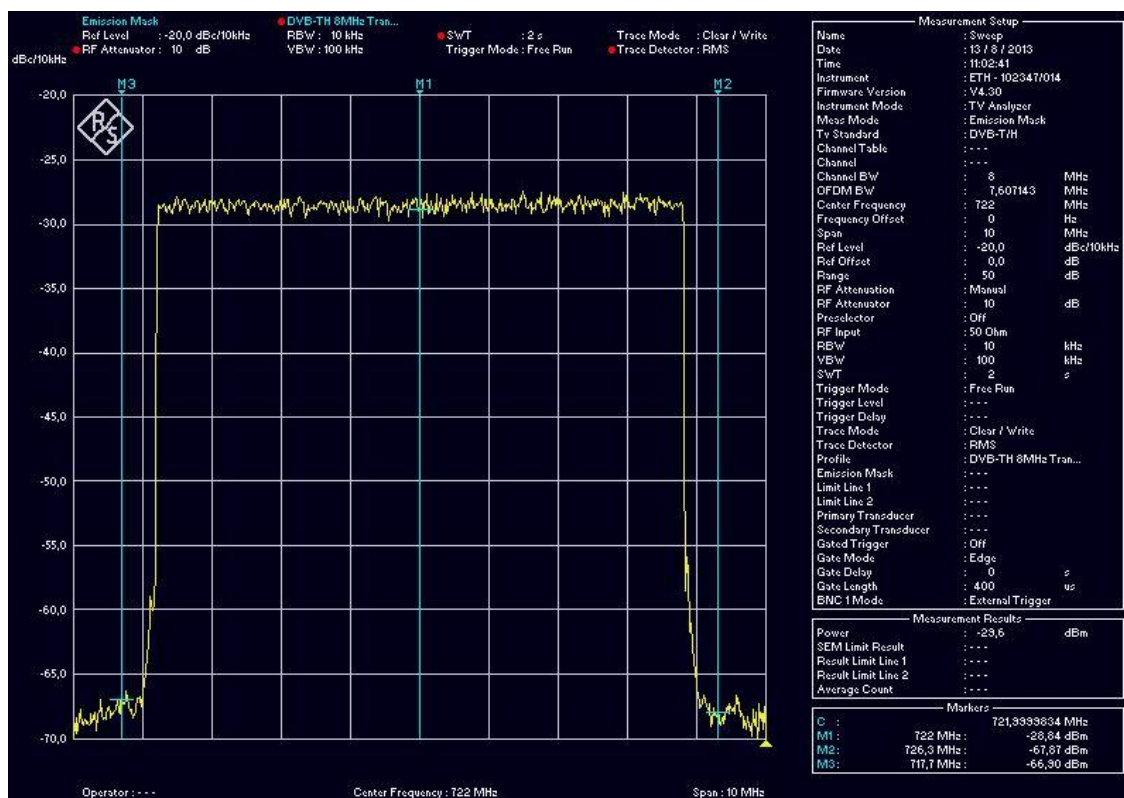


Figura 93: Medida de los shoulders en salida tx Ch 52

DVB-T/H	Meas List	DVB-T/H 8MHz Tran	01/08/13	14:28	
	RF	762 MHz			
	Band	---			
	Channel Table	---			
	Gain Control / RF Attenuation	Manual RF Attenuator / 0 dB			
	OFDM Bw / Channel Bw	7.6071429 MHz / 8 MHz			
Measurement Parameter		Result			
Power		-32.81	dBm		
Crest Factor		10.46	dB		
Demodulator		locked			
Sideband Position		normal			
Transmission Parameter Signaling		8K	1/4	QAM64	NH
Carrier Frequency Offset		148.6	Hz		
Symbol Rate Offset		0.2	ppm		
Modulation Error Ratio		rms 33.2	dB	peak 19.2	dB
Error Vector Magnitude		rms 1.43	%	peak 7.20	%
FEC Decoder		locked			
BER before Viterbi / Reed Solomon		0.0E-08		0.0E-08	
Packet Error Ratio		0.0E-04			
Packet Errors		0 /s			
MPEG TS Bitrate		19.905886	Mbit/s		
RF	Tamaño paso RF	Offset frec.		Canal	Tabla canal

Figura 94: Medida de calidad de la emisión a través de sonda en salida Tx Ch 57

Las hombreras (shoulders) dan información de la falta de linealidad de los transmisores. Esta genera intermodulación, aumentando el nivel de ruido.

La medida se realiza con un analizador de espectro con SPAN 10 dB, con un 'Marker' en la frecuencia central y dos 'Deltas' a $\pm 4,30$ MHz.

Medida de la frecuencia central con analizador de espectro IFR 2399A con referencia externa 10Mhz de GPS

4.7.1.4 Tasa de erros (BER) y factor de mérito (MER).

	MER dB	BER
RGE-57	33,2	0.0e-8
RGE2-52	32,5	0.0e-8

Tabla 19: BER y MER

Para una recepción casi libre de errores es suficiente un $BER < 2e-4$

Después del Multiplexor de salida:



Figura 95: Constelación de salida del Ch 52

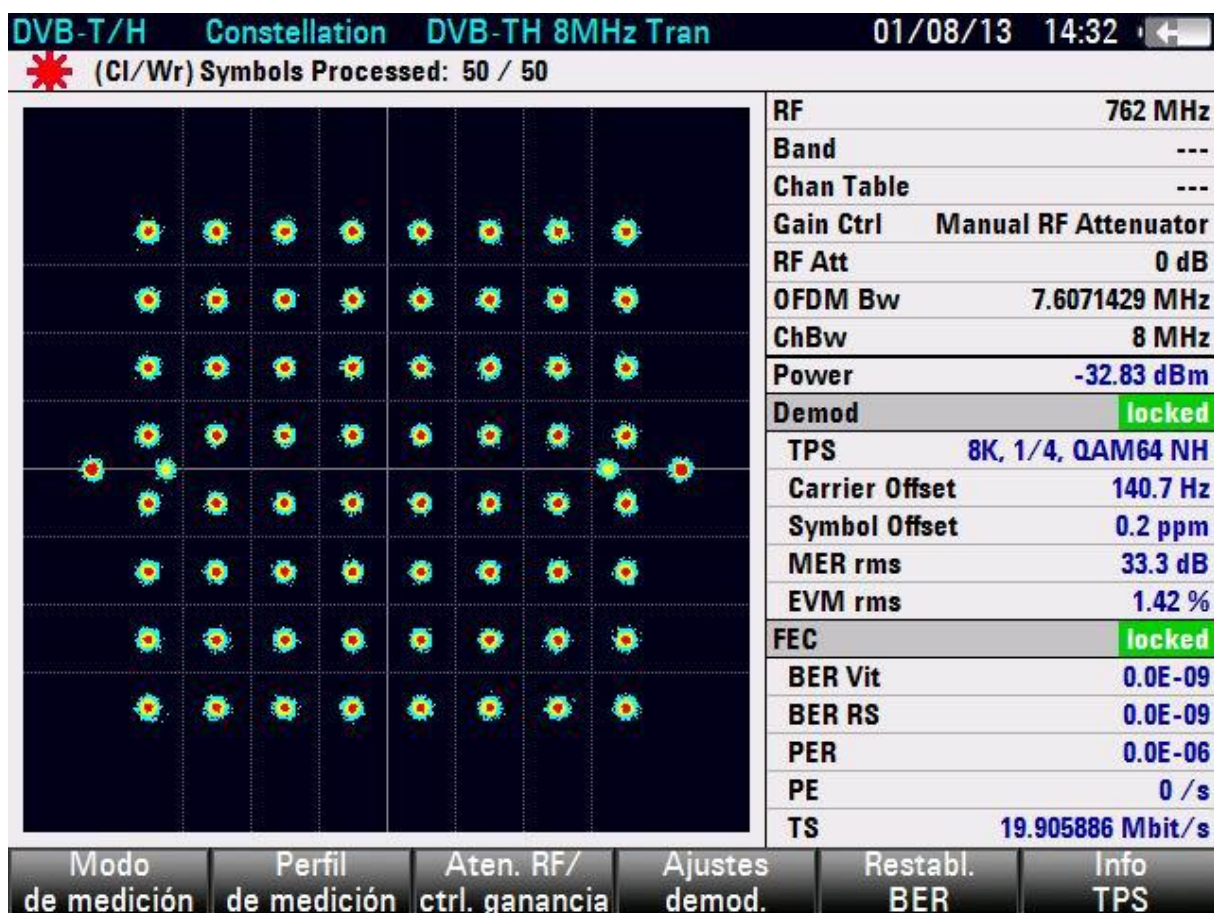


Figura 96: Constelación de salida del Ch 57

DVB-T/H		Meas List		DVB-TH 8MHz Tran		01/08/13		14:28			
	RF			762 MHz							
	Band			---							
	Channel Table			---							
	Gain Control / RF Attenuation			Manual RF Attenuator / 0 dB							
	OFDM Bw / Channel Bw			7.6071429 MHz / 8 MHz							
Measurement Parameter						Result					
Power						-32.81 dBm					
Crest Factor						10.46 dB					
Demodulator						locked					
Sideband Position						normal					
Transmission Parameter Signaling						8K	1/4	QAM64 NH			
Carrier Frequency Offset						148.6 Hz					
Symbol Rate Offset						0.2 ppm					
Modulation Error Ratio						rms	33.2	dB	peak	19.2	dB
Error Vector Magnitude						rms	1.43	%	peak	7.20	%
FEC Decoder						locked					
BER before Viterbi / Reed Solomon						0.0E-08		0.0E-08			
Packet Error Ratio						0.0E-04					
Packet Errors						0 /s					
MPEG TS Bitrate						19.905886 Mbit/s					
RF		Tamaño paso RF		Offset freq.				Canal		Tabla canal	

Figura 97: Medida calidad Ch 57 a la salida del multiplexor.

DVB-T/H		Meas List		<No Profile>		13/08/13		11:39			
		RF		722 MHz							
		Band		UHF 4/5							
		Channel Table		TV DK_OIRT							
		Gain Control / RF Attenuation		Auto Low Distortion / 25 dB							
		OFDM Bw / Channel Bw		7.6071429 MHz / 8 MHz							
Measurement Parameter						Result					
Power						-24.93 dBm					
Crest Factor						11.02 dB					
Demodulator						locked					
Sideband Position						normal					
Transmission Parameter Signaling						8K	1/4	QAM64 NH			
Carrier Frequency Offset						134.5 Hz					
Symbol Rate Offset						0.2 ppm					
Modulation Error Ratio						rms	32.5	dB	peak	11.5	dB
Error Vector Magnitude						rms	1.56	%	peak	17.40	%
FEC Decoder						locked					
BER before Viterbi / Reed Solomon						9.3E-06		0.0E-08			
Packet Error Ratio						0.0E-05					
Packet Errors						0 /s					
MPEG TS Bitrate						19.905886 Mbit/s					
Modo de medición		Perfil de medición		Aten. RF/ctrl. ganancia		Ajustes demod.		Restabl. BER		Info TPS	

Figura 98: Medida calidad Ch 52 a la salida del multiplexor.

El factor de mérito MER (Modulation Error Rate) es el valor medio calculado a partir de los TEV (Target Error Vector - Valor que define la diferencia entre el punto teórico de la constelación y el punto ocupado en la realidad). Indica el nivel de degradación de la constelación. Valor recomendable superior a 30 dB.

4.7.1.5 Desacoplo entre antenas de recepción y transmisión.

	Niveles	
	RGE - Ch 57	RGE2 - Ch 52
Nivel de Entrada dBm	-33	-31
MER señal de entrada dB	34,8	34
Nivel de desacoplo en dB	80	80

Tabla 20: Medidas de aislamiento.

El desacoplo o aislamiento entre antenas tiene que ajustarse a la fórmula del aislamiento (con cancelador de ecos):

$$\beta > G - 10 \quad (5.5)$$

Dónde:

β : aislamiento

G: ganancia necesaria

Para el cálculo se considera el peor de los casos, 30 dBm de potencia de salida del transmisor, y la menor potencia de recepción (- 33 dBm).

$$G = P_{tx} - P_{rx} = 30 \text{ dBm} + 33 \text{ dBm} = 66 \text{ dB, por tanto}$$

$\beta > 66 \text{ dB} - 10 = 56 \text{ dB} < 80 \text{ dB} \rightarrow$ La señal de salida no se verá afectada por el aislamiento.

Para medir el desacoplo o aislamiento, se genera un tren de deltas de potencia conocida en la banda deseada y se inyecta en los paneles transmisores.

Con un analizador de espectro se mide el nivel de potencia que llega a las antenas receptoras.

No se puede medir en la misma frecuencia de trabajo, ya que la propia señal a remitir está en el aire, lo que puede enmascarar el tren de deltas generado, intoxicando la medida.

Por tanto, se tiene que medir en un canal del espectro no ocupado por ninguna emisión. En este caso se ha utilizado de 784 a 790 MHz (CH 60).

4.7.1.6 Medida de verificación en campo

Una vez finalizada la instalación y puesta en servicio se debe realizar una o varias medidas de campo dependiendo de la orografía.

Básicamente, se comprueba que la señal se puede decodificar, además se hacen capturas de las medidas realizadas con los instrumentos de medida, como las que se exponen más abajo.

Hemos establecido dos puntos de medida, los mismos que en el inicio y encontramos niveles de señal excelente con unos valores de calidad muy buenos.

MEDIDA DE CAMPO TRAS LA INSTALACIÓN	
CH	DECODIFICA CORRECTAMENTE
52	SI
57	SI

Tabla 21: Medidas en campo

MEASUREMENT SUMMARY

LIST OF MEASUREMENTS

Measurement Type	Actual Value	Average Value	Minimal Value	Maximal Value
RF-Level	62.1 dBuV	62.0 dBuV	61.9 dBuV 14.03 10:40:20	62.1 dBuV 14.03 10:40:36
S/N	65.0 dB	3.2 dB	0.0 dB 14.03 10:40:12	65.0 dB 14.03 10:40:15
BER pre	7.08e-005	6.99e-005	2.71e-005 14.03 10:40:12	9.71e-005 14.03 10:40:17
BER post	2.65e-008	2.82e-008	2.69e-008 14.03 10:40:52	1.91e-006 14.03 10:40:12
MER	31.71 dB	31.88 dB	31.21 dB 14.03 10:40:48	32.95 dB 14.03 10:40:27
Video Upp	0.31 V	0.31 V	0.31 V 14.03 10:40:37	0.31 V 14.03 10:40:18
Subcarrier 1	not available	not available	not available	not available
Subcarrier 2	not available	not available	not available	not available

PRESS HUM Diag Button for HUM Diagram

SUMMARY

Prog.list -----	Sort Prg by Name	S/N Filter OFF	Noise Line 6	Signal Line 17	Nom. Line OFF
Rst.Summary	Show HUM Diag.				

DIG TER

Chan.Tab. DK-OIRT.gcr	Prog.Name 722.00	Prog.Number 43	Frequency 722.00 MHz	Channel C52	Standard DVBT/H
Bandwidth 8 MHz	Dem.Mode Fast	Ext.Volt 0.0 V	SID 0	Video-PID 0	Audio-PID 0
PCR-PID 0					

Figura 99: Medida en campo - Punto 1 ch52

MEASUREMENT SUMMARY

LIST OF MEASUREMENTS

Measurement Type	Actual Value	Average Value	Minimal Value	Maximal Value
RF-Level	65.8 dBuV	65.8 dBuV	65.7 dBuV 14.03 10:37:11	66.0 dBuV 14.03 10:37:09
S/N	0.0 dB	16.2 dB	0.0 dB 14.03 10:37:06	65.0 dB 14.03 10:37:10
BER pre	2.20e-004	2.20e-004	2.20e-004 14.03 10:37:06	2.20e-004 14.03 10:37:06
BER post	1.36e-008	1.36e-008	1.36e-008 14.03 10:37:06	1.36e-008 14.03 10:37:06
MER	30.38 dB	30.38 dB	30.38 dB 14.03 10:37:06	30.38 dB 14.03 10:37:06
Video Upp	0.31 V	0.31 V	0.31 V 14.03 10:37:20	0.31 V 14.03 10:37:06
Subcarrier 1	not available	not available	not available	not available
Subcarrier 2	not available	not available	not available	not available

PRESS HUM Diag Button for HUM Diagram

SUMMARY

Prog.list -----	Sort Prg by Name	S/N Filter OFF	Noise Line 6	Signal Line 17	Nom. Line OFF
Rst.Summary	Show HUM Diag.				

DIG TER

Chan.Tab. DK-OIRT.gcr	Prog.Name 762.00	Prog.Number 48	Frequency 762.00 MHz	Channel C57	Standard DVB-T/H
Bandwidth 8 MHz	Dem.Mode Fast	Ext.Volt 0.0 V	SID 0	Video-PID 0	Audio-PID 0
PCR-PID 0					

Figura 100: Medida en campo - Punto 1 ch57

MEASUREMENT SUMMARY

LIST OF MEASUREMENTS

Measurement Type	Actual Value	Average Value	Minimal Value	Maximal Value
RF-Level	68.1 dBuV	68.1 dBuV	67.7 dBuV 13.03 13:21:24	68.4 dBuV 13.03 13:21:39
S/N	0.0 dB	16.2 dB	0.0 dB 13.03 13:21:22	65.0 dB 13.03 13:21:24
BER pre	1.59e-004	1.78e-004	6.17e-005 13.03 13:21:22	2.13e-004 13.03 13:21:51
BER post	3.08e-008	3.30e-008	3.13e-008 13.03 13:21:55	1.91e-006 13.03 13:21:22
MER	32.48 dB	29.39 dB	28.33 dB 13.03 13:21:34	32.62 dB 13.03 13:21:24
Video Upp	0.31 V	0.31 V	0.31 V 13.03 13:21:27	0.31 V 13.03 13:21:23
Subcarrier 1	not available	not available	not available	not available
Subcarrier 2	not available	not available	not available	not available

PRESS HUM Diag Button for HUM Diagram

SUMMARY

Prog.list -----	Sort Prg by Name	S/N Filter OFF	Noise Line 6	Signal Line 17	Nom. Line OFF
Rst.Summary	Show HUM Diag.				

DIG TER

Chan.Tab. DK-OIRT.gcr	Prog.Name 722.00	Prog.Number 43	Frequency 722.00 MHz	Channel C52	Standard DVBT/H
Bandwidth 8 MHz	Dem.Mode Fast	Ext.Volt 0.0 V	SID 0	Video-PID 0	Audio-PID 0
PCR-PID 0					

Figura 101: Medida en campo - Punto 2 ch52

MEASUREMENT SUMMARY

LIST OF MEASUREMENTS

Measurement Type	Actual Value	Average Value	Minimal Value	Maximal Value
RF-Level	61.5 dBuV	61.4 dBuV	60.9 dBuV 13.03 13:16:03	65.1 dBuV 13.03 13:16:23
S/N	65.0 dB	13.0 dB	0.0 dB 13.03 13:16:00	65.0 dB 13.03 13:16:18
BER pre	4.15e-004	4.25e-004	1.57e-004 13.03 13:16:24	5.14e-004 13.03 13:16:19
BER post	5.30e-008	6.07e-008	4.54e-008 13.03 13:16:23	1.91e-006 13.03 13:16:00
MER	28.63 dB	29.05 dB	27.91 dB 13.03 13:16:05	31.40 dB 13.03 13:16:23
Video Upp	0.31 V	0.31 V	0.31 V 13.03 13:16:10	0.31 V 13.03 13:16:03
Subcarrier 1	not available	not available	not available	not available
Subcarrier 2	not available	not available	not available	not available

PRESS HUM Diag Button for HUM Diagram

SUMMARY

Prog.list -----	Sort Prg by Name	S/N Filter OFF	Noise Line 6	Signal Line 17	Nom. Line OFF
Rst.Summary	Show HUM Diag.				

DIG TER

Chan.Tab. DK-OIRT.gcr	Prog.Name 762.00	Prog.Number 48	Frequency 762.00 MHz	Channel C57	Standard DVBT/H
Bandwidth 8 MHz	Dem.Mode Fast	Ext.Volt 0.0 V	SID 0	Video-PID 0	Audio-PID 0
PCR-PID 0					

Figura 102: Medida en campo - Punto 2 ch57

4.8 Comparación con el resultado teórico

Tomando las referencias de los puntos de medida, los cuales se quiere comprobar su cobertura, se mide en campo la potencia recibida para el canal 57 y se compara con los valores del programa de simulación.

Las diferencias se deben a que las medidas del Programa se simulan para una altura media de la antena receptora de 10 metros, mientras que en campo se mide a una altura de 1,5 metros. También afecta la dificultad para situarse en la posición exacta para hacer las medidas, considerando un error de metros del GPS. [14]

Según el **CTTI** (Centro de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información) la calidad de la transmisión la determina como:

BER	MER (dB)	COMENTARIO
1x10 ⁻⁷	>30	Excelente
1x10 ⁻⁵	>25	Buena
1x10 ⁻⁴	>22	Aceptable
2x10 ⁻⁴	<21	Deficiente

Tabla 22: Calidad de la señal

Aunque los decodificadores que se comercializan son capaces de demodular señales de 20 dB de MER sin que pixelee ni corte la imagen.

Los niveles en recepción para el CH 57 son:

PUNTOS DE MEDIDA	Potencia (dBm)	MER (dB)	BER	Demodula	Comentario
1	-42	30,38	1,36e-8	Si	Excelente
2	-45	29,05	6,2e-8	Si	Buena

Tabla 23: Recepción en campo para el CH 57

Los niveles en recepción para el CH 52 son:

PUNTOS DE MEDIDA	Potencia (dBm)	MER (dB)	BER	Demodula	Comentario
1	-45	31,88	2,8e-8	Si	Excelente
2	-39	29,39	3,3e-8	Si	Buena

Tabla 24: Recepción en campo para el CH 52

El hecho de trabajar con reemisores puede condicionar la calidad de la recepción. Si al reemisor llega una señal con menor calidad que otra, a la salida pasará lo mismo. El nivel de potencia de entrada puede afectar al desacoplo entre antenas, a menor nivel de recepción más margen de ganancia se necesita.

CAPITULO 5

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SEGURIDAD

La aparición de nuevas tecnologías y aplicaciones para las telecomunicaciones, ha requerido la ampliación de la red de Centros Emisores existente. Ésta ha sido muy rápida, en ocasiones con unos plazos de despliegue que no han permitido una planificación estéticamente óptima, con una extensa tipología de estaciones instaladas.

La implantación de cualquier tecnología nueva puede afectar negativamente al medio ambiente, independientemente de los beneficios que su utilización pueda aportar a la sociedad. Este impacto medioambiental es importante, ya que se deriva de la necesidad, por un lado, de distribuir los centros emisores y reemisores por todo el territorio y, por otro, de contar con instalaciones que hagan posible la recepción de la señal en cada hogar.

Un paso previo para la obtención de la Licencia de Obra, es cumplir unas nuevas normativas y ordenanzas que las Administraciones Públicas han aprobado al respecto. En estas ordenanzas se impone la evaluación del impacto visual de las nuevas estaciones emisoras, y en algún caso, la instalación de sistemas que oculten total o parcialmente las antenas y sus soportes.

Para cumplir estas normas se han marcado las siguientes líneas de actuación:

- Aprovechar las instalaciones ya existentes de centros emisores.
- Sustituir, si es posible, los centros de elevado impacto visual por otros de menor, eliminando así la visión de centros situados en lugares de interés panorámico o cultural.
- En los edificios, sustituir las antenas individuales por antenas colectivas de mayor potencia.

Las emisiones electromagnéticas se reducen al mínimo mediante el blindaje o apantallado de los equipos instalados. Las líneas de cables se aíslan, y se comprueban junto a los conectores, que su radiación sea mínima o nula. Los bastidores, racks, armarios y equipos similares, también están dotados de su correspondiente protección o blindaje electromagnético.

5.1 Líneas de vida

Entre los riesgos debidos al trabajo en altura destacan las caídas de personas a igual y distinto nivel, las caídas de objetos por desplome o derrumbamiento, las caídas de objetos por manipulación y las caídas de objetos por desprendimiento.

Para la ejecución del presente proyecto se adoptarán las siguientes medidas de seguridad para trabajo en altura:

El andamio se organizará de forma constructivamente adecuada para que quede asegurada su estabilidad y las condiciones de trabajo de los operarios.

- Existencia de líneas de vida horizontales compuestas por un cable o raíl que va fijado a la pared o estructura mediante unos anclajes y una pieza corredera o carro que está diseñada de forma que no pueda salirse del sistema.
- Se desecharán los tablones con nudos o defectos peligrosos que comprometan su resistencia.
- La distancia de separación entre dos borriquetas, no será mayor de 1 metro, para tablones de 40 mm de espesor, de 1.50 metros para tablones de espesor comprendidos entre 40 y 50 mm; y de 2 metros, para tablones de 50 mm de espesor o más.
- Los tablones que constituyen el piso del andamio deberán estar unidos entre sí, de forma que se impida la introducción de los pies de los trabajadores en posibles huecos intermedios.
- La anchura del piso del andamio será la precisa para la fácil circulación de los trabajadores y del adecuado almacenamiento de los útiles, herramientas y materiales imprescindibles para el trabajo a realizar en tal lugar.
- Las plataformas de trabajo que ofrezcan peligro de caída desde más de dos metros de altura estarán protegidas en todo su entorno por barandillas y plintos o rodapiés. No se deberán emplear andamios de borriquetas montados total o parcialmente sobre andamios colgados o suspendidos.
- El orden y la limpieza se cuidarán de manera especial alrededor de los andamios de borriquetas, evitándose el acopio de materiales, herramientas, etc.
- En los casos en que no existan medios de protección colectiva que garanticen la seguridad del operario, deberá usarse cinturón o arnés de seguridad u otro dispositivo anticaídas.
- En el Pliego de Condiciones se especifican cuáles son todos los riesgos laborales para estas instalaciones.

El riesgo eléctrico referido a personas supone la posibilidad de circulación de una corriente por el cuerpo humano. Para esto es necesario que concurren simultáneamente la existencia de un circuito eléctrico cerrado, que el cuerpo humano pertenezca a éste y que en el circuito eléctrico exista una diferencia de potencial o tensión. La gravedad de las lesiones aumenta con la intensidad de la corriente y con la duración del contacto eléctrico.

Los riesgos laborales debidos a instalaciones eléctricas podrán estar asociados a contactos eléctricos directos o indirectos. Los directos son aquellos en los que la persona entra en contacto con una parte activa de la instalación, que en condiciones normales puede tener tensión. Los contactos eléctricos indirectos son aquellos en los que la persona entra en contacto con algún elemento que no forma parte del circuito eléctrico y que, en condiciones normales, no debería tener tensión, pero que la ha adquirido accidentalmente.

Todo equipo o instalación eléctrica debe estar dotado de un sistema de protección contra contactos eléctricos directos y de otro para contactos eléctricos indirectos.

Durante la realización del proyecto se adoptarán los sistemas de seguridad que se describen a continuación.

a) Sistemas de protección contra contactos eléctricos directos

- Alejamiento de las partes activas de la instalación a una distancia tal que sea imposible un contacto fortuito con las manos o por la manipulación de objetos conductores.
- Interposición de obstáculos que impidan todo contacto accidental con las partes activas de la instalación.
- Recubrimiento de las partes activas por medio de un aislamiento apropiado, capaz de conservar sus propiedades con el tiempo, y que limite la corriente de contacto a un valor no superior a 1 miliamperio. [11]

b) Sistemas de protección contra contactos eléctricos indirectos

- Separación de circuitos, mediante un transformador.
- Empleo de pequeñas tensiones de seguridad, mediante un transformador de seguridad, 50V en emplazamientos secos y 24V en emplazamientos mojados.
- Separación entre las partes activas y las masas accesibles por medio de aislamientos de protección.
- Inaccesibilidad simultánea de elementos de protección.
- Recubrimiento de las masas con aislamientos de protección.
- Conexiones equipotenciales.
- Puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto.
- Diferenciales. (Esquema TT). La aparición de un primer defecto de aislamiento provoca una tensión e intensidad de defecto de duración limitada, ya que se produce el disparo del dispositivo automático de corte. La sensibilidad del diferencial que se ha de instalar está en función del valor de la resistencia de tierra.
- Neutro aislado de tierra y dispositivos de corte automático. (Esquema IT). La aparición de un primer defecto de aislamiento provoca una corriente de defecto pequeña que no es capaz de generar tensiones de defecto peligrosas. Si el primer defecto no ha sido subsanado y aparece simultáneamente un segundo defecto, se produce un cortocircuito que provoca la intervención de los dispositivos de corte y la desconexión automática. Es preceptiva la conexión equipotencial del conductor de protección a todas las masas metálicas importantes, estructuras, tuberías, etc.

Este sistema es apropiado para proteger cualquier instalación, siempre que se disponga de transformador propio y tiene la ventaja de que no detiene el proceso al primer defecto.

- Puesta a neutro de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto. (Esquema TN). Los defectos de aislamiento se transforman en cortocircuitos entre fase y neutro, provocando el funcionamiento rápido de los dispositivos de corte. Es preceptiva la conexión equipotencial del conductor de protección a todas las masas metálicas importantes, estructuras, tuberías, etc. Es un sistema adecuado para proteger cualquier instalación, siempre que se disponga de transformador propio y no importe excesivamente que dispare al primer defecto. [11]

CAPITULO 6.

POSIBILIDADES FUTURAS DE LA TDT.

Con el apagón analógico queda ancho de banda libre del espectro de radiofrecuencia. Éste se ha aprovechado para ampliar nuevos canales y duplicar los existentes con el llamado simulcast para la devolución al Estado de los canales 66 al 69 que será adjudicado al uso de telefonía móvil. El simulcast está actualmente aparcado por la situación económica que nos asiste.

Actualmente se está trabajando en las opciones comentadas a continuación.

6.1 TDT de acceso condicional

En España la mayoría de empresas fabricantes de televisores tienen firmados desde hace un tiempo acuerdos para distribuir TV con adaptadores universales de las tarjetas decodificadoras.

La codificación de la señal la llevan a cabo los gestores de los canales, por lo que en términos de difusión, el hecho de transmitir datos codificados no afecta a la infraestructura actual. Se utiliza la codificación de aritmética modular denominada Nagra 3.

El primer canal que emite TDT de pago es GolTV, aunque la dificultad de los distribuidores para disponer de las tarjetas decodificadoras hace que aun hayan pocos usuarios que disfruten de este nuevo sistema. [22]

6.2 Alta definición (HD)

El video se comprime según el estándar H.264 (o MPEG-4 Advanced Video Coding), que incluye mejoras en la compensación de movimiento, predicción de imágenes, etc.

Como pasa con la TDT de pago, todos los cambios se aplican en los centros de producción, por lo que las infraestructuras de difusión no necesitan adaptación.

El principal requisito que impone el gobierno para emitir en alta definición, es que el gestor del múltiple tiene que ser una sola entidad, para que pueda ordenar su ancho de banda como crea necesario.

Puesto que la alta definición se codifica de forma diferente a la estándar, es necesario que los receptores incluyan decodificadores HD.

6.2.1 Televisión para dispositivos móviles (DVB-H y DVB-SH)

Está en fase piloto y su implantación se prevé a largo plazo. El estándar de televisión digital móvil tiene algún cambio respecto a la terrestre DVB-T. Las diferencias más remarcables son la utilización del modo 4k (4096 portadoras), time slicing ,

encapsulación multiprotocolo y forward error correction (MPE-FEC), y la utilización del estándar de compresión H.264:

- Time slicing: reduce el nivel mínimo de potencia necesario en el receptor notablemente. También permite el handover entre celdas.
- MPE-FEC: Mejora en nivel portadora-ruido (C/N) y reduce los efectos Doppler derivados del movimiento.
- H.264: Más eficiente que el MPEG-2.

Los transmisores TDT de la red actual son compatibles con DVB-H, por lo que los dos servicios pueden convivir con la red existente.

El gran inconveniente que tiene la televisión en movilidad es la necesidad de una red de difusión similar a la de la telefonía móvil. Esto ha hecho que los esfuerzos se estén encaminado hacia la difusión vía satélite utilizando el estándar DVB-SH, con la instalación puntual de algún centro emisor para reforzar la cobertura.

El DVB-SH incluye un codificado rápido para la corrección de errores y un interlineado flexible capaz de cohesionarse con la tipología de las redes terrestres.

La idea de la TDT para móviles es el lanzamiento de un satélite de órbita geoestacionaria para la cobertura en exteriores, integrado con una red de repetidores para cobertura indoor en zonas urbanas. [6] [23]

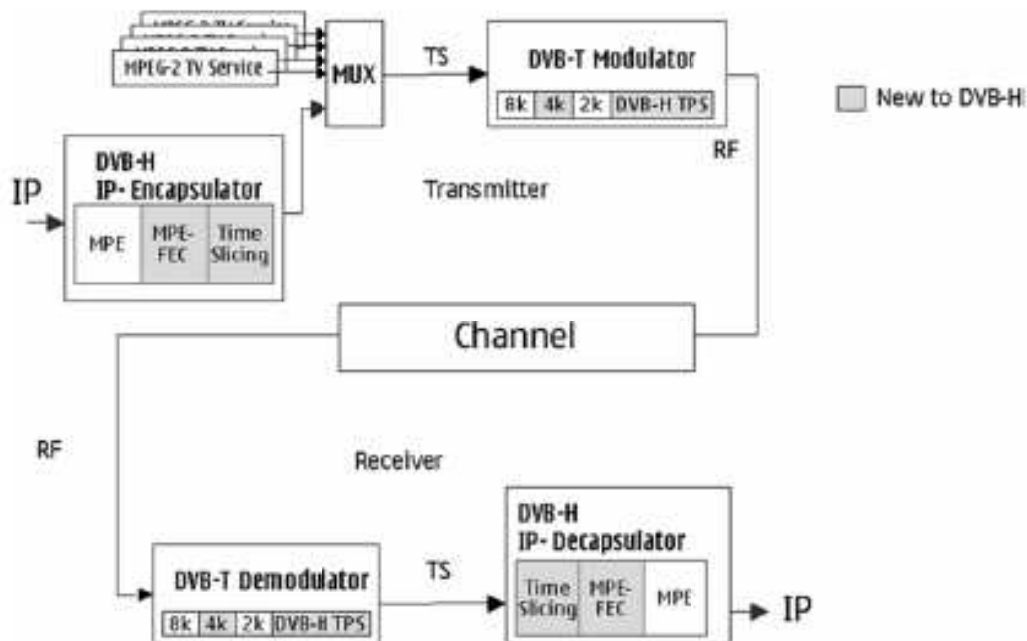


Figura 103: Posibilidad de coexistencia entre DVB-T y DVB-H.

6.3 TDT-2

Basado en el estándar DVB-T2. Supone un avance significativo del anterior estándar DVB-T. Está dirigido para los países que aun no hayan hecho al apagón analógico. Las principales diferencias entre la TDT2 y la TDT clásica son:

- Pensada para emitir en alta definición.
- El video se codifica mediante el estándar MPEG-4 H.264
- Mayor posibilidad para interactuar.
- Nuevos algoritmos de codificación como LDPC (Low Density Parity Check) y BCH, que trabajan en cascada para proporcionar una superior protección a interferencias.
- Se puede implementar utilizando la red actual de distribución.
- Posibilidad de aumentar el intervalo de guarda permitiendo la difusión de redes de frecuencia única que cubran grandes extensiones de terreno.
- La robustez añadida permite la recepción en interiores y en dispositivos móviles.

La codificación y modulación utiliza el espectro de una forma entre un 30 - 50% más eficiente.

En la tabla siguiente se comparan las características principales entre DVB-T y DVB-T2, y se muestran las diferencias entre ambas en color rojo. [3]

	DVB-T	DVB-T2
FEC	Códigos convolucionales + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LPDC + BCH 1/2, 3/5 , 2/3, 3/4, 4/5 , 5/6
Modulaciones por portadora	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Intervalo de guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256 , 1/8, 19/128 , 1/16, 1/32, 1/128
Tamaño de la FFT según portadoras	2k, 8k	1k , 2k, 4k , 8k, 16k , 32k
Portadoras piloto dispersas	8 % del total	1 % , 2 % , 4 % , 8 % del total
Portadoras piloto continuas	2,6 % del total	0,35 % del total

Figura 104: Comparación DVB-T con DVB-T2

Comparado con otros sistemas de transmisión digitales, ATSC (Estados Unidos) actualmente no tiene forma de implementar mejoras en la eficiencia espectral, y ISDB-T (Japón) no tiene previsto mejorar sus algoritmos.

Debido al avanzado estado de implantación de la televisión digital terrestre con DVB-T en España, no se implementará TDT2 a corto ni medio plazo.

CAPITULO 7.

PRESUPUESTO.

Se detalla brevemente el presupuesto aproximado en la tabla siguiente.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Equipo transmisor	9.864,00 €
Sistema radiante.	1.560,00 €
Sistema receptor	1.243,00 €
Infraestructuras auxiliares -Acometida y alimentación eléctrica. -Protección contra incendios -Poste de hormigón -Cerramiento -Sistema pararrayos	3.150,00 €
Mano de obra, instalación y puesta en marcha	2.000,00 €
TOTAL	17.817,00 €

Tabla 25: Presupuesto aproximado.

CAPITULO 8.

CONCLUSIONES.

El uso de tecnología digital permite una mayor versatilidad en la generación, transporte y recepción de las señales de video, audio y datos.

Dependiendo de su codificación, se puede transmitir más canales con calidad alta o estándar en el mismo ancho de banda.

La modulación OFDM es robusta al multicamino y a interferencias, y los codificadores proporcionan gran capacidad de corrección de errores. Estos métodos aseguran una transmisión casi libre de errores (QEF – Quasi Error Free). Por estos motivos es posible la utilización de transmisores de menor potencia que los analógicos, y sus redes de difusión pueden ser de frecuencia única (SFN), consiguiendo una ocupación espectral más eficiente que de multifrecuencia (MFN).

El gran enemigo en la difusión de tv digital, son los obstáculos naturales que impiden que la señal llegue a todas las zonas deseadas. Los receptores analógicos son capaces de mostrar imagen y sonido deteriorado (nieve o doble imagen), pero los receptores digitales tienen un C/N mínimo que se debe cumplir. En caso negativo no demodulará nada. Esto obliga a aumentar la cantidad de centros emisores o en su caso a mejorar coberturas.

Para cubrir pequeñas zonas sin cobertura, los “gapfillers” son la solución más barata, pero al transmitir en SFN y la necesidad de respetar el tiempo de guarda, introduce nuevas dificultades a superar como el aislamiento entre antenas. Además son repetidores no regenerativos, es decir, $BER \text{ de salida} \geq BER \text{ entrada}$. Por lo que es necesaria una señal aérea de origen de una calidad suficiente para ser remitida.

Entre las ventajas del DVB-T, destacan el ahorro de espectro, la robustez de la señal que permite la recepción móvil, la capacidad de efectuar desconexiones territoriales, y la posibilidad de mantener la instalación de recepción, aprovechando las antenas convencionales existentes.

Los métodos de planificación de coberturas son muy precisos, aunque la dificultad para obtener información precisa de los sistemas transmisores (sistemas radiantes, potencias de salida, atenuaciones de los cables, etc.) de los centros emisores, que tienen influencia en la zona a planificar, puede aportar un sensible margen de error. Tampoco se tiene en cuenta la estabilidad frente a la climatología, calor, viento, polvo, etc.

ACRÓNIMOS UTILIZADOS

ASI - Asynchronous Serial Interface

ATSC - Advanced Television System Committee

BER - Bit Error Rate

BPSK - Binary Phase Shift Keying

BST-OFDM - Band Segmented Transmission Orthogonal Frequency Division Multiplexing

C/N - Carrier/Noise

CAT - Tabla de Acceso Condicional

CBR - Constant Bit Rate

CE - Centro Emisor

CNAF - Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

COFDM - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

CTTI - Centro de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información

dB - Decibelios

DCT - Discrete Cosine Transform

DVB - Digital Video Broadcasting

DVB-H - Digital Video Broadcasting - Handheld

DVB-T - Digital Video Broadcasting Terrestrial

EIT - Tabla de Información de Eventos

EPG - Guía de Programación Electrónica

ETS - European Telecommunication Standard

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

FI - Frecuencia Intermedia

GF - Gap Filler

GPS - Global Positioning System

HDTV - High Definition Television

IDU - In Door Unit

IP - Internet Protocol

ISDB-T- Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial

ISI - Interferencia Ínter simbólica

ITC - Instrucción Técnica Complementaria

ITU-R - International Telecommunications Union –Radio communication Sector

LDPC - Low Density Parity Check

LNB - Low Noise Block Converter

MER - Modulation Error Rate

MFN - Multi Frequency Network

MHP - Multimedia Home Platform

MHZ- Megahercios

MIP - Mega-frame Initialisation Packet

MPE-FEC - Multi Protocol Encapsulation – Forward Error Correction

MPEG - Moving Picture Experts Group

MTR Multiple Transport Protocol

MUX - Multiplexor

NICAM - *Near Instantaneous Companded Audio Multiplex*

NIT - Tablas de Información de Red

NTSC - National Television System Committee

ODU - Out Door Unit

OL - Oscilador Local

PAL - Phase Alternating Line

PAT - Tabla de Asociación de Programas

PCR - Program Clock Reference

PDH - Jerarquía Digital Plesiócrons

PES - Packetized Elementary Stream

PID - Program Identification

PMT - Tabla de Mapa de Programa

PNTDT - Plan Nacional de la Televisión Digital Terrestre

PS - Program Stream

PSI - Program Specific Information

QAM - Quadrature Amplitude Modulation

QEF - Quasi Error Free

QPSK - Quadrature Phase Shift Keying

RF - Radio Frecuencia

RGE - Red Global Estatal

SDH - Jerarquía Digital Síncrona

SDI - Serial Digital Interface

SDT - Tabla de Descripción de Servicios

SDTV- Standard Definition Television

SFN - Single Frequency Network

TDT - Televisión Digital Terrestre

TEV - Target Error Vector

TPS - Transmission Parameters Signalling

TS - Transport Stream

UHF- Ultra High Frequency

UTM - Universal Transverse Mercator

VBR - Variable Bit Rate

VSB - Vestigial Side Band

W – Watts

BIBLIOGRAFÍA

ETS 300 744 Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for digital Terrestrial television (DVB-T).- ETSI [1]

Documentos del proyecto VIDITER [2]

Draft Implementation guidelines to DVB-T.- VALIDATE [3]

Testing Digital Video.-HEWLETT PACKARD [4]

Transmisión Digital de Televisión por Vía Terrestre.- PEDRO CAÑIZARES [5]

Principles of modulation and channel coding for digital broadcasting for mobile receivers.- M. ALARD and R. LASSALLE [6]

El espectro DVB-T desvelado.- JUAN NAVALPOTRO [7]

EN 300744 Radiodifusión de video digital (DVB); Estructura de trama, codificación y modulación de canal para televisión digital. [8]

Estándares DVB: [9]

<http://www.dvb.org/technology/standards/>

Normativas y fechas de implantación del MITYC: [10]

<http://www.televisiondigital.es/Terrestre/Index.htm>

Alonso Montes, J. I. y García Pedraja, F. en TDT: Marco Regulatorio y Fundamentos Técnicos , Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid (2008). [11]

Molina García, M. en Extensión de la cobertura. Despliegue e instalación de Gap-fillers: Proyectos Técnicos , Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid (2008). [12]

García Pedraja, F. en Equipamiento y Certificación , Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid (2008). [13]

Alonso Montes, J.I., García Pedraja, F., Riera Salís, J.M., Rodriguez Salazar, J. A. en Televisión Digital Terrestre: Aplicaciones y Proyectos Técnicos. Aspectos de Transmisión, Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid (2008). [14]

Catálogo de conectores Alfa'R: [15]

<http://www.alfarsl.es/>

Catálogo cables y antenas Andrew: [16]

http://www.commscope.com/andrew/eng/support_document/catalogs/index.

Fabricante de transmisores Egatel: [17]

<http://www.egatel.es/>

Fabricante de transmisores Mier: [18]

<http://www.mier.es/>

Linnartz, J. P., en Free Space Propagation [19]

www.wirelesscommunication.nl

<http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr03/fsl.htm>

Website del software Radio Mobile: [20]

<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

Galvís Quintero, A., Gómez Santamaría, C., Hincapié Reyes, R. C. en Modelos de canal inalámbricos y su aplicación al diseño de redes Wimax, Bolivia (2006). [21]

Artículo de Vega, M. para el Mundo Digital sobre la TDT de pago: [22]

<http://www.elmundo.es/mundodinero/2009/06/21/economia/1245591603.html>

Noticias e información sobre TDT para móviles: [23]

<http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/Topic13.html>

Catálogos EGATEL (EQUIPOS) [24]

Catálogos PROMAX. (INSTRUMENTACIÓN) [25]

Catálogos RYMSA. (Sistemas radiantes) [26]

Catálogos RODHE SCHWARZ. (INSTRUMENTACIÓN y EQUIPOS) [27]

Catálogos SUNNER. (CABLES Y CONECTORES) [28]